REAL ACADEMIA DE DOCTORES DE ESPAÑA

LAS ARAÑAS Y SUS TELAS
UN PARADIGMA MULTIDISCIPLINAR

DISCURSO DE INGRESO

PRONUNCIADO EN EL ACTO DE SU TOMA DE
POSESIÓN COMO ACADÉMICO DE NÚMERO POR EL

EXCMO. SR. DOCTOR
D. MANUEL ELICES CALAFAT

Y CONTESTACIÓN DEL

EXCMO. SR. DOCTOR
D. PEDRO GARCÍA BARRENO

EL DÍA 18 DE FEBRERO DE 2009

MADRID
MMIX

A Paula y Cristina

Depósito legal: M. 5.606-2009
Imprime: REALIGRAF, S. A.
Pedro Tezano, 26
28039 Madrid

Excmo. Señor Presidente
Excmos. Señoras y Señores Académicos
Señoras y Señores

En primer lugar, deseo expresar mi satisfacción por entrar a formar parte de la Real Academia de Doctores y mi agradecimiento a sus miembros por haberme aceptado en ella y, muy especialmente, a quienes avalaron y presentaron mi candidatura: Al Doctor Emilio Llorente Gómez, Presidente de la Sección de Ingeniería, al Doctor Saturnino de la Plaza Pérez y al Doctor Pedro García Barreno. Quiero agradecer, también, al Doctor Arturo Romero Salvador, Vicepresidente de la Sección Ciencias Experimentales, por su constante interés y apoyo. A todos ellos, gracias por el entusiasmo y afecto con que defendieron la propuesta. A mi reconocimiento por su trayectoria humana y científica añado, ahora, gratitud por su generosidad.

Procedo de un campo multidisciplinar —la Ciencia e Ingeniería de Materiales— donde cada día es más importante y necesario tener una perspectiva transdisciplinar. Entre los fines de la Academia figura, precisamente, "Actuar como entidad científica, técnica y cultural para la coordinación *interdisciplinar*". Espero y deseo colaborar en esta dirección durante mi paso por la Academia. Es una gran responsabilidad pero el reto me gusta, y confío hacerlo con el apoyo y estímulo de los relevantes miembros de esta Corporación.

Finalmente, deseo rendir reconocimiento a mis colaboradores y mi familia a los que pertenece, en gran parte, el mérito que puede tener mi trayectoria: A mi esposa, Margarita Apellániz Sancho, y a mis hijas Ana María, Margarita e Isabel por su constante apoyo y comprensión por el tiempo que les he robado. A todos los miembros del Departamento de Ciencia de Materiales de la Escuela de Ingenieros de Caminos de la Universidad Politécnica de Madrid. De todos he aprendido y he conseguido —siguiendo el consejo de Ramón y Cajal— no formar discípulos que me sigan sino sabios que me superen. En particular, deseo agradecer al Doctor Gustavo V. Guinea Tortuero, a la Doctora Pilar de Vega Martínez y al Doctor Miguel Angel Limón Pons por su interés y por haber aportado valiosas sugerencias durante la redacción del discurso, a José Miguel Martínez Palacio por la ayuda prestada en las ilustraciones y a Rosa María Morera Bosch por la esmerada confección del texto.

LAS ARAÑAS Y SUS TELAS:
UN PARADIGMA MULTIDISCIPLINAR

INDICE

1.- INTRODUCCION 5
2.- INGENIERIA 9
La telaraña, un prodigio de la ingeniería estructural
Los hilos de seda, un reto para la bioingeniería
3.- CIENCIAS EXPERIMENTALES 17
Paleontología de las arañas
Los hilos de seda, un enigma por resolver
4.- CIENCIAS DE LA SALUD 21
Las sedas y la ingeniería de tejidos: Medicina
Los enemigos de las arañas: Veterinaria
La telaraña, un laboratorio para evaluar drogas: Farmacia
5.- BELLAS ARTES 31
Las arañas del viejo continente
Las arañas del nuevo mundo
Las arañas van a los museos
Un ballet para la araña
6.- LITERATURA 41
La araña en la mitología griega
La araña en las fábulas de Esopo
La araña en el cómic
7.- CIENCIAS SOCIALES 47
La telaraña al ratón deja y a la mosca apaña: Derecho
El modelo de la telaraña: Economía
8.- TEOLOGIA 53
La araña en el Antiguo Testamento y en el Corán
La soberbia, pecado de Aracne y de Lucifer
9.- EPILOGO. LA TELARAÑA COSMICA 59
La telaraña cósmica
10.- NOTAS 61

M. Elices

J. Vizcaino

1.- INTRODUCCION

Cada año, cuando empieza el otoño, los agricultores chinos fabrican casitas de paja para que hibernen en ellas las arañas que viven en los arrozales. De esta manera, las arañas sobreviven durante el duro invierno y en la siguiente primavera están listas para atacar las hordas de insectos que podrían arruinar las cosechas.

Según se mire, las arañas pueden despertar miedo o fascinación; nos alarma su posible picadura y nos asombra la belleza de sus telarañas, pero a medida que las conocemos mejor, las tememos menos y las apreciamos más.

El tema seleccionado —las arañas y sus telas— posee un carácter **universal**, tanto en el tiempo como en el espacio: La araña es un símbolo *intemporal*. Las arañas han sido pintadas y cinceladas por artistas del período megalítico y en la actualidad monumentales arañas esculpidas por modernos artífices se exhiben en museos de arte contemporáneo. La araña es, también, un mito *global*. Civilizaciones de distintas regiones del planeta han convertido a la araña en alegoría de la diosa creadora: Encontramos referencias a las arañas y sus telas en las leyendas cosmológicas de Mesopotamia, Egipto y Grecia, en las culturas Maya y de los indios de Norteamérica, en las selvas africanas y en las islas del Pacífico.

El tema tiene, además, un carácter **ambivalente**. Las arañas y sus telas han despertado sentimientos contrapuestos de admiración y rechazo. Las telarañas aparecen como ejemplos de *fragilidad* y de *resistencia sin par*: "El mundo es como una tela de araña, detrás de cuya fragilidad está acechándote la nada", leemos en Las mil y una noches[1] y Solón comparó las leyes a las telarañas "que sólo al pobre enmaraña, rompiéndola el poderoso"[2]. Por otra parte la telaraña se nos muestra, desde el punto de vista ingenieril, como una excelente estructura; hasta tal punto que si fuéramos capaces de construir una red de pesca con las mismas propiedades podríamos atrapar un avión en pleno vuelo. Los nativos de Papua, Nueva Guinea, utilizaban las telarañas para confeccionar pequeñas redes para pescar y los arquitectos se han inspirado en ellas para diseñar la cúpula del Millenium, una de las obras emblemáticas de este siglo[3]. Las arañas pueden provocar sentimientos de *amenaza* o todo lo contrario, de *protección*: la aracnofobia es un síntoma muy generalizado y bien conocido.

Por otro lado, para muchas culturas primitivas la araña es un símbolo maternal, un símbolo de vida; la Madre Araña protege, crea un hilo de vida y une a toda la humanidad a través de este cordón umbilical. Para Louise Bourgeois, la araña, lejos de atemorizar, es una imagen protectora que ella ha asociado constantemente a su madre; una de sus monumentales arañas, que se exhibe en la Tate Gallery, la ha bautizado con el nombre de "Maman".

Pero el motivo de la elección de este tema es su carácter **multidisciplinar**. Las arañas y sus telas permean todas las ramas del saber y permiten alusiones a cada una de las distintas secciones de esta Real Academia de Doctores:

a.- La telaraña es un prodigio de *Ingeniería* que no deja de sorprendernos a medida que profundizamos en su estudio. Es una estructura optimizada para muchas funciones; para repartir eficazmente las fuerzas que debe soportar, para atrapar a las presas y para ser tolerante al daño.

b.- Las fibras de seda que hilan las arañas poseen unas extraordinarias propiedades mecánicas, todavía no superadas por las fibras artificiales. Para entender su comportamiento y poder diseñar fibras con mejores prestaciones es preciso tener más información sobre la física y la química de estos polímeros, la ciencia de estos materiales y la biología de las arañas; todo ello relacionado con las *Ciencias experimentales*.

c.- Las virtudes terapéuticas de las arañas y sus sedas han sido reconocidas y apreciadas desde la antigüedad. La telaraña se ha utilizado como hemostática, astringente, febrífuga e incluso como ansiolítica. En la actualidad, la seda de las arañas puede ser un componente esencial en ingeniería de tejidos y en la fabricación de microcápsulas para administrar fármacos. Las aplicaciones de las sedas en *Medicina, Veterinaria* y *Farmacia* son muy prometedoras.

d.- Las arañas y sus telas han despertado el interés de los artistas desde los más remotos tiempos. En España tenemos, posiblemente, las pinturas rupestres de arañas más antiguas. Hace 2000 años, los pobladores de las llanuras de Nazca nos dejaron la imagen de una araña —grabada en el suelo— de unos cincuenta metros y en nuestros días, Louise Bourgeois nos ha legado una colección de gigantescas arañas —de acero, bronce y mármol— que se exhiben en museos por todo el mundo. Hasta se ha

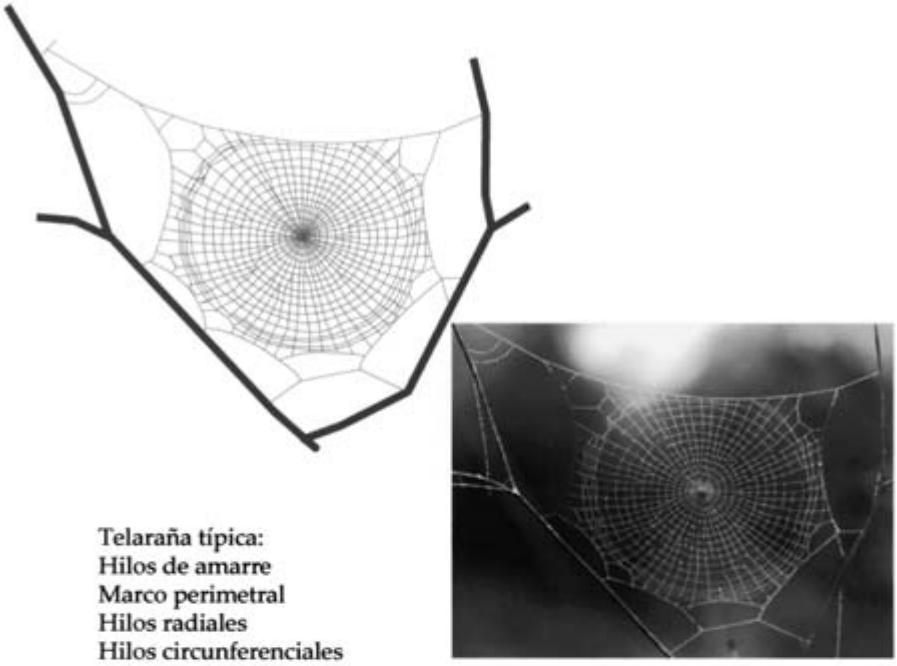
escenificado un ballet —Le festin de l'Araignée— con música de Albert Roussel. Las arañas están debidamente representadas en las *Bellas Artes*.

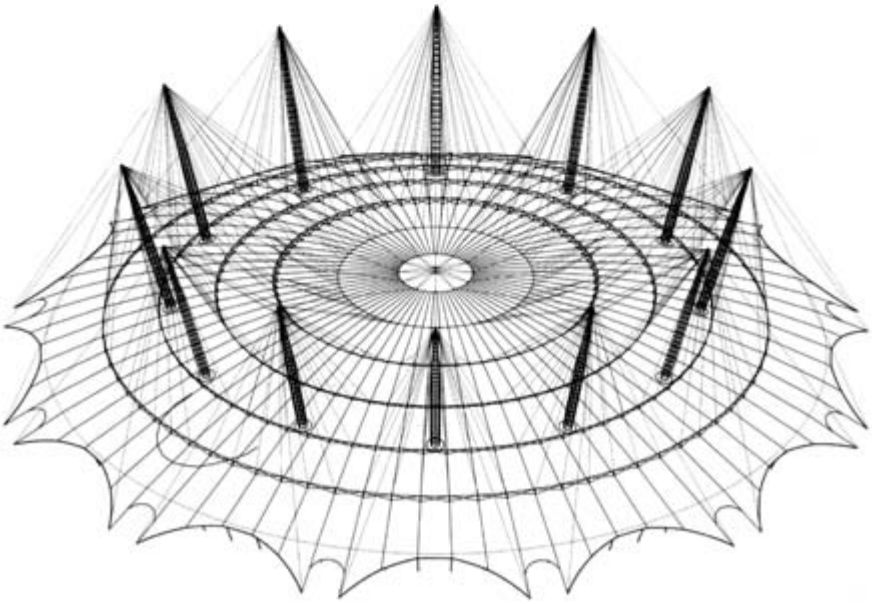
e.- La *Literatura*, como no podía ser menos, se ha ocupado adecuadamente de estos artrópodos intemporales. Aparecen en la antigua mitología griega —con el enfrentamiento entre Atenea y Aracne— y siguen despertando el interés de los adolescentes con los mitos modernos —spiderman y los comics—. Las arañas y sus telas han originado fábulas y moralejas, han inspirado numerosas novelas, guiones de películas, y seguirán motivando la imaginación de los literatos.

f.- En el campo del *Derecho* la telaraña no sale muy bien parada, su fragilidad se ha utilizado para ironizar acerca del funcionamiento de la administración de justicia. Las telarañas se han comparado a las leyes, que enredan y detienen a los débiles para ser rotas por los poderosos y ricos. Sebastián de Horozco ya nos decía, en 1570, que "la tela de araña al ratón dexa y a la mosca apaña"[4].

g.- La *Economía* ha utilizado el modelo de la telaraña para ilustrar las oscilaciones del suministro y de la demanda en un mercado donde la cantidad de mercancía debe determinarse antes de conocer su precio. En el ámbito de la economía popular abundan las supersticiones que relacionan a las arañas con la buena suerte y la inminente llegada de dinero.

h.- Finalmente, en el terreno de la *Teología* también aparecen las arañas y sus telas. En la Biblia encontramos varias citas en el Antiguo Testamento; en todas ellas la araña es un animal despreciable y sus telas son débiles. La araña incluso se ha asociado a Lucifer por su soberbia —el mismo pecado por el que Aracne se enfrentó a Atenea— escena que Dante recrea en la Divina Comedia cuando visita el Purgatorio.





Estructura del *Millenium Dome* inspirada en la telaraña

2.- INGENIERIA

Las arañas y sus telas han llamado la atención de los ingenieros y arquitectos, muy en particular de los que sienten predilección por las estructuras ligeras —las carpas y otras estructuras que trabajan fundamentalmente a tracción—. Las arañas son unos ingenieros excepcionales tanto en el diseño de estructuras ligeras (ingeniería estructural) como en la fabricación de superfibras (bioingeniería) y todo ello lo han conseguido tras millones de años de evolución, porque la Naturaleza sólo premia a los que triunfan.

La telaraña, un prodigio de la ingeniería estructural

La naturaleza nos ha proporcionado una hermosa y delicada estructura —la tela que fabrican las arañas— que no deja de sorprendernos. Parece ser que la evolución la ha orientado hacia una estructura destinada a resistir eficazmente el impacto de las presas y, a la vez, minimizar los materiales utilizados y el tiempo de su construcción; un gran reto para cualquier ingeniero de nuestro tiempo. La naturaleza lo ha conseguido optimizando el diseño estructural y la fabricación de los materiales. Veamos ambos aspectos con cierto detalle.

La telaraña es una estructura singular:

En una telaraña típica se pueden distinguir cuatro tipos de hilos; los que se usan como amarres, los que configuran el marco perimetral, los radiales, y los hilos circunferenciales que componen la espiral de captura. Los hilos están formados dos tipos de seda; la seda producida por la glándula mayor se usa para los hilos de amarre, del marco y de los radios y la seda producida por la glándula menor para los hilos de la espiral de captura.

Para construir la tela, la araña tiende primero los hilos de amarre, los del marco y los radiales. La diferencia entre estos hilos depende del número de hebras que los componen; dos o cuatro en los radiales, cuatro u ocho en el marco y de ocho a diez en los amarres. Después, construye un entramado provisional sobre el que fabrica la tela espiral de captura a la vez que elimina el andamio temporal.

La estructura de la red está optimizada para diversas funciones, entre ellas: repartir eficientemente las acciones exteriores, atrapar las presas y ser tolerante al daño (un nuevo concepto que los ingenieros empiezan a tener en cuenta en el diseño de estructuras).

El *reparto óptimo de las cargas* debidas al impacto de una presa o al efecto del viento, se consigue variando la rigidez de los distintos componentes de la estructura y postensando los hilos. La telaraña se puede modelizar como una estructura formada por cables de distinta rigidez; los que configuran los amarres y el marco son más rígidos que los radiales y éstos más que los de la red espiral. En las estructuras hiperestáticas donde la rigidez está jerarquizada los elementos más rígidos soportan una proporción mayor de la carga aplicada. Con esta distribución de rigideces se consigue que todas las hebras soporten una tensión similar y con ello se optimiza la capacidad resistente del material y se minimiza su consumo. Las tensiones todavía se pueden repartir mejor si los tendones se postensan —tarea que realiza la araña periódicamente— como han comprobado los ingenieros del Instituto para Estructuras Ligeras, en Stuttgart, y en las oficinas de Ove Arup, en Londres[1].

Para *atrapar una presa* que choca contra la telaraña, las fibras de seda no pueden tener un comportamiento perfectamente elástico: la telaraña actuaría como un trampolín y la energía elástica almacenada sería devuelta a la presa catapultándola de nuevo. Afortunadamente para la araña, esto no ocurre. Durante el impacto se consume energía en la deformación de las fibras, porque éstas exhiben un comportamiento viscoelástico. Se estima que la energía disipada por esta causa puede ser superior a la mitad de la almacenada durante el impacto y frenado de la presa[2]. Todavía hay otro mecanismo que permite disipar energía; es el rozamiento de las fibras con el aire[3]. Si consideramos que el diámetro de las fibras es del orden de 10^{-6} m y que la velocidad relativa es del orden de 1 m/s, el flujo del aire será laminar y las fuerzas viscosas predominarán. En estas circunstancias, la resistencia por unidad de longitud de la fibra es proporcional a la velocidad del aire pero no depende del diámetro. La arquitectura de la telaraña saca provecho del amortiguamiento aerodinámico al fabricar la red de captura con el hilo más fino posible.

Otra característica notable de las telarañas es su capacidad de soportar pequeños daños en su estructura, podría decirse que están proyectadas siguiendo los modernos criterios del diseño con *tolerancia al daño*[4]. En pocas palabras, cuando una telaraña sufre un daño —una rotura localizada, por

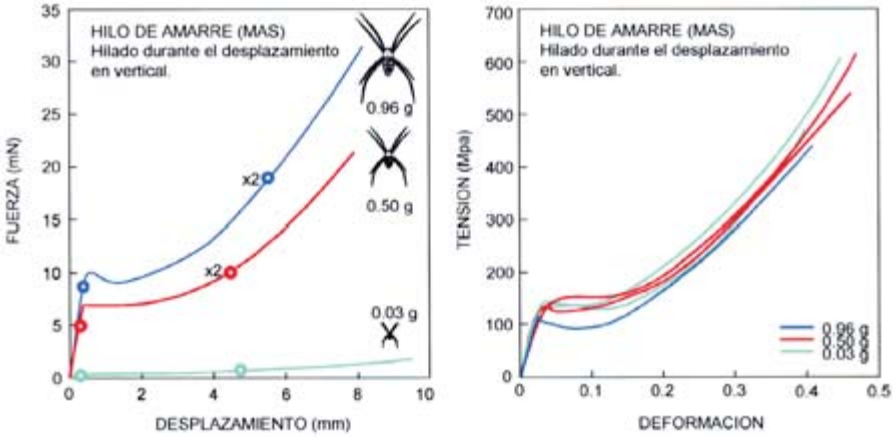
ejemplo— las tensiones que soportan los hilos se redistribuyen, se reduce la rigidez transversal de la red y su frecuencia natural de vibración, pero casi siempre mantiene su capacidad para atrapar presas. También se ha observado que el postesado de los hilos mejora la tolerancia al daño de la red.

El hilo de seda es un material singular:

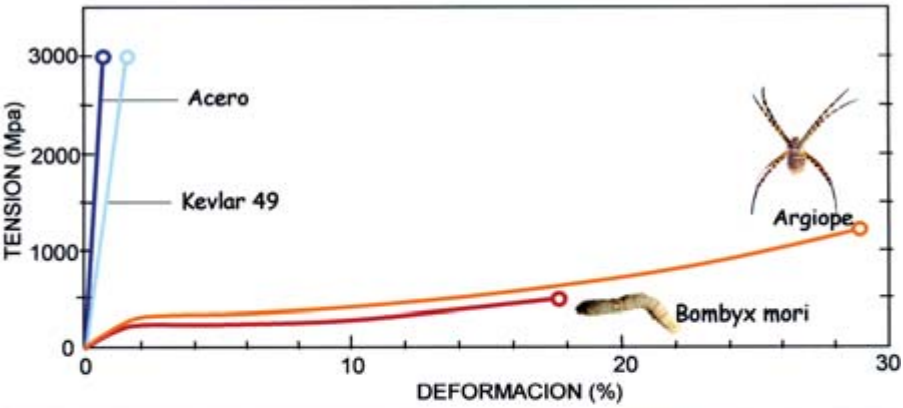
Las arañas que tejen redes consiguen el alimento solamente a través de las presas que atrapan y por ello debe existir una estrecha relación entre la energía que obtienen de la captura y la que gastan en fabricar y mantener una red funcional. En consecuencia, para las arañas ha de ser ventajoso producir la red con el mínimo volumen de seda y de esta forma economizar la secreción de proteínas. Esto lo consiguen fabricando fibras que son a la vez muy *finas* y *resistentes*.

Los hilos de seda más resistentes son los que provienen de la glándula mayor; los utiliza para fabricar los amarres, el marco y los radios de la red, como ya se ha comentado, y como hilo de seguridad para sus desplazamientos. Las arañas fabrican hilos de la misma calidad pero de distinto diámetro en función del peso; las arañas más grandes hilan fibras de mayor diámetro. Si se analiza el comportamiento de tres hilos de seguridad procedentes de tres arañas (*Argiope trifasciata*) de distintas edades y pesos se observa que las tres curvas fuerza-desplazamiento son distintas pero en las tres la fuerza que puede soportar cada hilo es bastante superior al doble del peso de la araña; un dato bien conocido por los alpinistas porque es la mínima fuerza que debe soportar la cuerda de seguridad para sujetar a un escalador que caiga casi sin velocidad. Cuando los diagramas fuerza-desplazamiento se representan como diagramas tensión-deformación (fuerza dividida por la sección del hilo —alargamiento relativo) las tres curvas coinciden[5]. Este resultado no es sorprendente porque el material utilizado es el mismo, sólo ha variado el diámetro de los hilos. Las arañas pequeñas no necesitan un margen de seguridad distinto de las más grandes y tienen menos capacidad para producir seda.

Las propiedades mecánicas de los hilos de la glándula mayor son espectaculares cuando se comparan con los hilos de acero y con otras fibras artificiales de altas prestaciones: la tensión de rotura para hilos muy finos de acero y para las fibras artificiales de Kevlar 49 se sitúa alrededor de 3000 MPa, mientras que los hilos de la humilde *A. trifasciata* pueden alcanzar los 1000 MPa y se han publicado datos de otras especies de



Las curvas FUERZA-DESPLAZAMIENTO de los hilos de araña de distinto tamaño se funden en una sola cuando se representan en TENSION-DEFORMACION, lo que indica que el material es el mismo en todas ellas.
(Garrido, Elices, Viney, Perez-Rigueiro, *Polymer*, **43**, 2002).



	Energía Almacenada (kJ/kg)	Resistencia (GPa)	Deformación Hasta rotura (%)
Seda araña *(Argiope trifasciata)*	130	1.2	30
Seda Gusano *(Bombix mori)*	40	0.5	20
Kevlar 49 *(Fibra Du Pont)*	30	3.0	3
Acero eutectoide *(cuerda de piano)*	4	3.0	2

La energía capaz de almacenar un hilo de seda de araña (área encerrada bajo la curva TENSION-DEFORMACION) es muy superior a la de otras fibras (Elices, Perez-Rigueiro, Plaza, Guinea, *J. of Materials*, **2**, 2005)).

arañas que alcanzan los 4000 MPa. Pero la resistencia no es lo más importante, lo verdaderamente asombroso es la combinación de resistencia y deformabilidad: los hilos de acero, o las fibras de altas prestaciones, rompen con una deformación del 1 o del 2%, mientras que los hilos de seda que estamos considerando lo hacen con deformaciones del 30%. Estas dos propiedades juntas —gran resistencia y deformabilidad— son las que hacen único al hilo de seda, porque permiten que el hilo pueda almacenar una gran cantidad de energía antes de romperse; 130 kJ/kg para el hilo de araña, frente a 30 kJ/kg para el Kevlar y apenas 4 kJ/kg para el acero.

El hilo de captura, o hilo víscido, que forma la espiral de la red es muy deformable —alrededor del 300%—, porque su misión es absorber la energía del impacto sin romperse. Podría absorberla con una deformación pequeña, pero sería a costa de tener una resistencia mucho mayor que la del hilo de seguridad. El motivo de esta gran flexibilidad está relacionado, de nuevo, con la función que desempeña el hilo en la red; el hilo víscido tiene un papel protagonista en la tela para cazar presas. Para atrapar un insecto que vuela es preciso frenarlo hasta reducir su velocidad a cero; este proceso se puede conseguir con un recorrido corto, en cuyo caso las fuerzas que deben aplicarse son grandes, o mediante un recorrido más largo y soportando fuerzas menores[6]. Por todo ello, las arañas han decidido fabricar sus telas con hilo víscido en vez de usar el hilo de seguridad porque así pueden atrapar presas más grandes o que vuelen más rápido.

Los ingenieros y los arquitectos suelen inspirarse en la naturaleza para encontrar soluciones a sus problemas. Las telarañas pueden ser una buena fuente de ideas, tanto más cuanto mejor conozcamos su estructura y funcionamiento. No se trata de imitarlas —no somos arañas— sino de aplicar los conocimientos adquiridos a las creaciones humanas. Se ha especulado que si fuéramos capaces de fabricar una red, a escala humana, semejante a las redes de las telarañas podríamos atrapar a un avión comercial durante el aterrizaje y, quizás, evitar un accidente[7]. De momento, la distribución jerarquizada de rigideces en diversos componentes puede ser una valiosa guía para diseñar estructuras ligeras de mallas tesas[8], y el amortiguamiento dinámico observado puede dar algunas pistas para el diseño de puentes atirantados[9]. Las redes para pescar aviones todavía pertenecen al ámbito de la ciencia-ficción.

Los hilos de seda, un reto para la bioingeniería

Las excelentes propiedades mecánicas de los hilos de seda de las arañas ha despertado el interés por fabricarlas usando las técnicas de la *ingeniería genética*. Si estas sedas se pueden fabricar en grandes cantidades —a un precio competitivo y en condiciones respetuosas con el medio ambiente— pueden ser una alternativa a las fibras de baja tecnología, como el nilón o el algodón (que son baratas, pero caras desde el punto de vista medioambiental), o a las fibras de más alta tecnología, como el Kevlar o el Twaron (que son caras en los dos aspectos, tanto en el costo como en su repercusión con el medio ambiente).

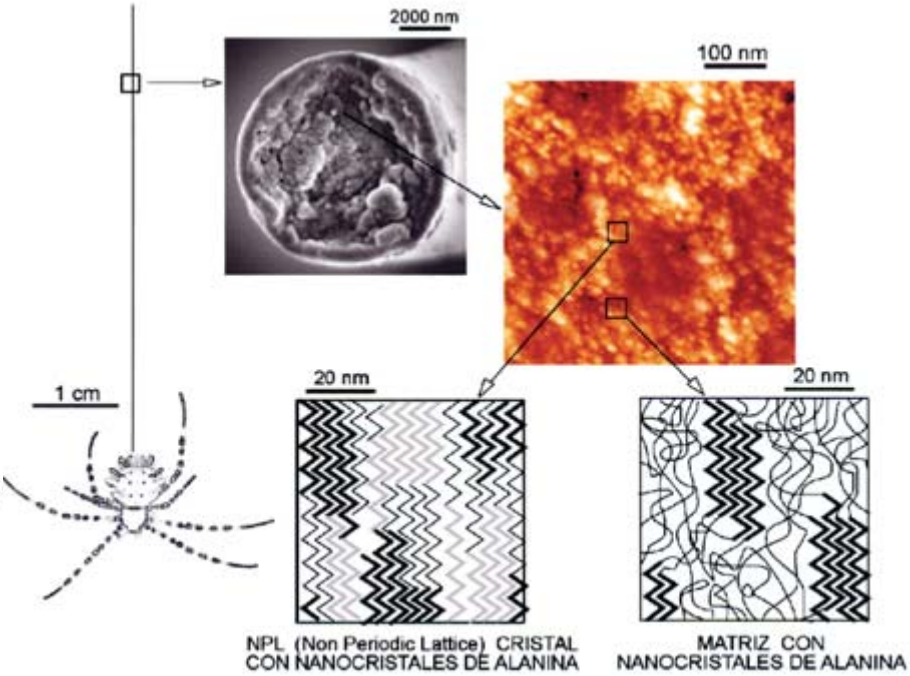
La fabricación, en cantidades industriales, de seda de araña no es fácil. Las arañas no se han podido domesticar y criar masivamente, como los gusanos de seda, porque es muy difícil que crezcan juntas en cautividad por su naturaleza solitaria y depredadora. Además, las telas de araña no se pueden devanar como se hace con los hilos de los capullos de seda. La ruta por la que se intenta avanzar tiene dos etapas: En la primera, se pretende identificar los genes de las arañas responsables de la fabricación de las proteínas de la seda, sintetizarlos y expresarlos en otros organismos, obteniendo, al final, una solución proteíca. La segunda etapa consiste en hilar la solución proteica, y fabricar la fibra.

Al principio se pensó que la primera etapa —fabricar las proteínas de la seda de las arañas por ingeniería genética— sería la más difícil. El primer paso consistió en identificar varias secuencias de aminoácidos relacionados con la composición de los hilos de seda, y el siguiente paso fue la preparación de genes artificiales con estas secuencias de aminoácidos. Los primeros intentos de expresar estos genes en la clásica bacteria *Escherichia coli* no fueron muy satisfactorios. Entre los distintos microorganismos candidatos, el grupo de DuPont obtuvo resultados aceptables con la levadura *Pichia pastoris*[10] y aireó sus éxitos en la prensa y en una nota aparecida en la prestigiosa revista Scientific American. Poco tiempo después, Nexia anunciaba que lo había conseguido a través de la leche de cabras modificadas genéticamente; a las nuevas fibras, fruto del matrimonio genético entre una araña y una cabra, las llamó Bio-steel (acero-biológico) y pregonó que su resistencia superaba los 2 GPa[11].

Tres años más tarde DuPont abandonó, aparentemente, esta línea de investigación. Nexia, junto con el ejército de EE.UU., anunció que habían fabricado fibras artificiales de seda de araña pero que su resistencia estaba

bastante lejos de la pregonada anteriormente; apenas la cuarta parte[12]. En 2005, Nexia comunicó que dejaba el campo de las fibras para dedicarse a otros productos de alto valor añadido. Es posible que el proceso de hilado a partir de la solución proteica sea el paso más difícil y en esta dirección los ingenieros están concentrando ahora sus esfuerzos.

Esta situación es parecida a los intentos que se han hecho para fabricar hilo de seda a partir de soluciones de seda regenerada procedente de los gusanos de seda (*Bombix mori*). Hasta la fecha los intentos no han sido muy satisfactorios[13] porque la resistencia de los hilos artificiales apenas alcanzaba la mitad de la obtenida con la seda natural. Sin embargo, nuestro grupo ha obtenido resultados muy prometedores al modificar el proceso de hilado tradicional, deformando el hilo en medio acuoso. Por este procedimiento ya se han conseguido igualar los valores de la seda natural y se espera poderlos incrementar[14]. Estos resultados indican, como ya se ha apuntado anteriormente, que el proceso de hilado es tan importante, o más, que la composición de la solución proteica. Si se logra implementar estas técnicas al hilado de las sedas inspiradas en las arañas quizás se consigan fabricar hilos más resistentes, flexibles y tenaces que los que diariamente producen las arañas en nuestros jardines.



Microestructura de un hilo de seda de araña

3.- CIENCIAS EXPERIMENTALES

Pese a los esfuerzos realizados en el campo de la ingeniería para entender —como estructura y como material— la tela que construyen las arañas y para imitar la fabricación de sus fibras —mediante técnicas de bioingeniería— la causa de las extraordinarias propiedades mecánicas de sus hilos sigue sin conocerse bien. Cabe esperar que cuando se conozca seremos capaces de diseñar fibras con mayores prestaciones. Para poder diseñarlas hace falta entender las relaciones entre la estructura de las fibras y su función, lo cual requiere poseer más información sobre la física y la química de los polímeros, la ciencia de los materiales, la biología molecular y la biología de las arañas; todo ello relacionado con las *ciencias experimentales*.

Paleontología de las arañas

Se cree que las arañas producían hilos de seda hace más de 400 millones de años, porque se han encontrado hileras en restos de caparazones fósiles de arañas del Devónico[1]. En la sierra de Montseny (Lérida) se han descubierto arañas fosilizadas que datan de comienzos del Cretácico, hace alrededor de 130 millones de años[2]. El primer hilo víscido de seda fósil se encontró dentro de un trozo de ámbar, procedente de Líbano, fechado también a comienzos del Cretácico. Se trata de un hilo de 4 mm de longitud, adornado con 38 gotitas de un líquido —posiblemente viscoso— fosilizado, pero no está claro si era un hilo aislado o formaba parte de una red[3]. Recientemente, en España, se ha encontrado un trozo de telaraña fosilizada en ámbar que puede considerarse como el registro fósil más antiguo de esta estructura: El hallazgo se produjo en Escucha (Teruel) y es, hasta hoy, la telaraña con insectos atrapados más antigua del mundo, ya que su edad se ha datado en más de 110 millones de años. En la trampa se ha encontrado una mosca, una avispa y un ácaro, todos de especies extinguidas hace más de 80 millones de años[4]. Este mismo año, también en España, en el yacimiento de Peñacerrada (Alava), se encontró una nueva especie fósil de araña en ámbar, bautizada como *Mesozygiella dunlopi*, que es la araña tejedora más antigua del mundo descubierta hasta el momento[5]. Estas arañas fósiles, con un tamaño entre 2 y 6 mm, pertenecen a la familia *Araneidae* y, a pesar de que vivieron hace 115 millones de años y que esta especie ya se ha extinguido, son muy parecidas a las actuales arañas de jardín, lo que indica que la estrategia de cazar utilizando redes ha tenido mucho éxito porque se mantiene después de tanto tiempo.

Las arañas poseen varios tipos de glándulas que segregan distintos tipos de sedas. La glándula mayor es la que segrega la seda llamada de seguridad y que ha sido la más estudiada; es la utilizada como cordón de seguridad para la araña, para fabricar los amarres, el marco y los radios de la telaraña. Está compuesta, básicamente, por dos proteínas de las que se conoce parcialmente la secuencia del DNA que las genera. También se han empezado a estudiar las sedas que provienen de la glándula menor y de la flageliforme. Esta información, que proviene de la química y de la biología molecular, se combina con otros datos provenientes de la física y de ensayos mecánicos, difracción de rayos-X, espectroscopía Raman, dicroísmo circular y resonancia magnética nuclear. En lo que sigue se indica someramente el estado del conocimiento de las relaciones entre la *estructura* y *propiedades* de este interesante material, tratando de mostrar la íntima relación entre todas las disciplinas implicadas.

La estructura primaria de las proteínas de la seda de las glándulas mayor, menor y flageliforme, se conoce parcialmente; hay secuencias de A_n, GA, GGX y $GPG(X)_n$ (donde A, G, P y X representan; alanina, glicina, prolina y X otros aminoácidos). Las estructuras secundaria y terciaria son menos conocidas pero se cree que las secuencias $(A)_n$ y $(GA)_n$ forman nanocristales con estructura de hojas-β, y que los motivos (GGX) y $GPG(x)_n$ forman probablemente estructuras helicoidales.

Las dificultades encontradas al tratar de correlacionar la estructura con las propiedades mecánicas se deben, por una parte, a las dimensiones y fragilidad de las fibras —se trata de hilos con diámetros del orden de la micra— y, por otra parte, a la dispersión de los datos obtenidos mediante los ensayos tradicionales de tracción.

La microestructura de las fibras de seda se ha intentado desentrañar utilizando multitud de técnicas[6]: Mediante difracción con rayos-X se han identificado *nanocristales* de polialanina (A_n) dispersos en una *matriz amorfa* de proteínas. Técnicas más refinadas, basadas en el micro haz de rayos X de un sincrotón, han permitido medir la alineación de estos cristalitos con relación al eje de fibra en diferentes situaciones[7]. La espectroscopia Raman también arroja cierta luz sobre la deformación de las moléculas, cuando se analiza el desplazamiento de las bandas al deformar la fibra[8]. La espectroscopía basada en la resonancia magnética nuclear ha

proporcionado información sobre la matriz amorfa rica en glicina; estos datos indican que existe una estructura secundaria orientada, con las cadenas predominantemente paralelas al eje de la fibra[9]. La microscopía de fuerza atómica también está ayudando a esclarecer la organización supramolecular de la seda[10]. Toda esta información sugiere modelizar las fibras de seda como elastómeros de cristales líquidos. Al contrario de lo que sucede con un elastómero convencional, los *elastómeros de cristales líquidos* exhiben un cierto orden aún cuando no estén sometidos a esfuerzos externos. Todavía queda mucho camino por andar y, aunque cada día aparecen nuevas técnicas que contribuyen a que conozcamos mejor la compleja estructura de los hilos de seda de las arañas, también es muy posible que se planteen nuevas preguntas a medida que se vayan contestando las ya propuestas.

La dispersión de los resultados que se obtienen de un ensayo de tracción convencional ha dificultado su interpretación: en estos experimentos se registraba la *fuerza* en función del *desplazamiento* de la fibra, pero en muchos casos no se tenía en cuenta que el diámetro de las fibras podía variar —las arañas lo pueden modificar según las circunstancias[11]—, ni que el desplazamiento era función de la longitud inicial. La dispersión de los resultados mejoró cuando se representaron las *tensiones* (fuerza por unidad de área) en función de las *deformaciones* (desplazamiento unitario) y todos los ensayos se realizaron en idénticas condiciones, controlando la temperatura, humedad y velocidad de solicitación[12]. Aún así, se observó que la araña es capaz de hilar fibras con distintas características mecánicas, y como no hay razones para pensar que la composición química varíe de una fibra a otra hay que suponer que las diferencias observadas se deben a la distinta estructura interna producida durante el hilado, y en este sentido se dirigieron las investigaciones[13]. Se descubrió que al contraer las fibras en agua se desbloqueaban los enlaces de hidrógeno entre los aminoácidos y se obtenía una estructura muy desordenada que al secarla nos proporcionaba siempre la misma curva tensión-deformación, con independencia de la procedencia inicial de la fibra. Posteriormente se observó que controlando la contracción se podía reproducir cualquier fibra producida por la araña y, todavía más, se podían obtener sedas más rígidas y resistentes[14].

Toda esta información ha propiciado la aparición de varios modelos —desde un planteamiento molecular hasta otros basados en la mecánica de los medios continuos— para explicar el extraordinario comportamiento mecánico de los hilos de seda. Uno de los más destacados, a nivel

mesoscópico, es el debido a Termonia[15] que considera el hilo de arrastre como un material compuesto por cadenas flexibles reforzadas por pequeños cristales; las cadenas son oligopéptidos ricos en glicina y los cristalitos paquetes de hojas-β de polianina. El modelo es capaz de reproducir bastante bien las curvas tensión-deformación de las fibras secas y húmedas, pero presenta dificultades para reproducir los ciclos de carga y descarga junto con otros aspectos viscoplásticos. Otro modelo, desarrollado en nuestro Departamento de Ciencia de los Materiales y que parece más prometedor, está planteado desde un enfoque macroscópico y se basa en imponer la equivalencia entre los trabajos virtuales del material compuesto y el medio continuo equivalente[16]. El modelo no sólo reproduce las curvas tensión-deformación de las fibras para distintos grados de alineamiento interno sino que también es capaz de reproducir los ciclos de histéresis.

4.- CIENCIAS DE LA SALUD

Las virtudes terapéuticas de las arañas y sus sedas han sido reconocidas y apreciadas desde la antigüedad y en todas las regiones del planeta. La telaraña se ha utilizado como hemostática, astringente, febrífuga y, también, como ansiolítica. Aparte del folclore que las rodea, deben existir razones basadas en la bioquímica y en la fisiología que justifiquen el atractivo que han tenido a lo largo de los tiempos.

Las arañas y sus telas se han utilizado externamente para aliviar muchas dolencias. La aplicación más conocida ha sido como *hemostático*; los comentarios de Plinio el Viejo sobre las ventajas de aplicar telarañas sobre las heridas porque facilitan su cicatrización son bien conocidos y todavía se utilizan estos emplastos en algunos lugares. Shakespeare menciona su uso para este fin en "El sueño de una noche verano"[1], y resulta curioso conocer que su yerno, un médico llamado John Hall, usaba para las curas telarañas y otros productos poco recomendables, como excrementos de animales[2]. Otra aplicación conocida es como *antipirético*; el naturalista griego Discorides ya indicó en su tiempo que la fiebre producida por la malaria podía desaparecer si se colgaba en la axila una bolsa repleta de telarañas. Pietro Matthiale, en el siglo XVI, famoso por sus comentarios sobre los libros de Discorides, también era partidario de colgar alrededor del cuello, como si fuera un amuleto, una bolsa con telarañas para eliminar las fiebres. Elías Ashmole, un famoso anticuario, escribió en su diario el 11 de Mayo de 1651, "Por la mañana temprano, tomé una buena dosis de elixir y colgué alrededor de mi cuello tres arañas. La fiebre desapareció, Deo gratias". Eleazar Albin, autor del libro "Una historia natural de las arañas y otros insectos curiosos" (1736), afirma haber curado a muchas personas que padecían fiebres, debidas a la malaria, sin administrarles medicamentos, sólo colgándoles del cuello arañas vivas encerradas en cajitas. Las telarañas también se han utilizado como *ansiolítico* para curar la depresión; en algunas regiones de China se colgaban telarañas al cuello de los enfermos, pero para que surtieran efecto debía hacerse el séptimo día del séptimo mes. En Salem, el Dr. Webster decía que las telarañas producían un efecto sedante parecido al opio o al óxido nitroso[3]. La lista de aplicaciones es extensa y curiosa: Galeno proponía para aliviar los dolores de las caries que se introdujera en ellas seda de las arañas. Las verrugas, los orzuelos, incluso la tiña podían curarse con las telarañas.

Si el uso externo de las arañas y sus telas resultaba beneficioso para curar ciertas dolencias, cabe esperar que la utilización interna fuera, todavía, más rentable. Como *antipirético* se recomendaba ingerir arañas vivas con pan. El Dr. Watson, en su disertación sobre "Fiebres intermitentes", en 1760, fue más explícito y sugirió que se tragaran con uvas pasas o con pan y mantequilla, y comentó que en más de sesenta ocasiones había conseguido curar las fiebres cuando con el tratamiento usual —la quinina— había fracasado. Todavía en el siglo XIX, Robert Jackson, un médico militar inglés, defendía el uso de las arañas para aliviar las fiebres recurrentes frente al arsénico o la quinina[4]. La ingestión de telarañas se ha utilizado como un remedio para multitud de dolencias; el asma o la gota eran dos enfermedades que podían curarse por este procedimiento aunque para la gota era mejor si la telaraña provenía de un ciprés. De nuevo, las arañas, con pan y mantequilla, aliviaban el estreñimiento (al menos en el estado de Kentucky) y en la Edad Media, algunos creían que la ingestión de arañas machacadas era un eficaz remedio contra la impotencia.

La medicina, la farmacia y la veterinaria —las tres secciones de esta Academia vinculadas con las Ciencias de la Salud— han estado siempre muy relacionadas y no es de extrañar que los remedios basados en las arañas y sus telas también lo hayan estado. Últimamente, debido a la especialización, es más fácil encontrar aplicaciones específicas para cada uno de estos campos, veamos algunos ejemplos.

Medicina

Hace más de 4000 años los egipcios ya utilizaban hebras de seda para suturar heridas, pero la entrada oficial en la cirugía se atribuye a E.T. Kocher, en 1887, y a W.S. Halsted que en 1913 perfeccionó la técnica[5].

Los hilos de seda procedentes del gusano de seda tienen el inconveniente de que pueden provocar reacciones alérgicas[6] y de que al ser porosos —por la forma en que están tejidos— no deben utilizarse en heridas donde exista un gran riesgo de infección. Sin embargo, su uso está indicado en la cirugía de los párpados y labios, donde la irritación es mínima y la posibilidad de infecciones baja.

En la actualidad, los hilos de seda de las arañas empiezan a considerarse seriamente como candidatos para suturas, por sus superiores propiedades mecánicas y menos riesgos de reacciones alérgicas (al no estar recubiertos de sericina). Además, se han medido sus propiedades mecánicas a distintas temperaturas y se ha observado que las mantienen bastante bien hasta 150°C, lo que sugiere que estas fibras se pueden esterilizar por calor antes de usarlas en cirugía[7].

Las sedas y la ingeniería de tejidos

Los hilos de seda tendrán un gran protagonismo en los implantes de tejidos y órganos. El planteamiento tradicional era buscar materiales que fueran inertes —que interaccionaran lo menos posible con el cuerpo— para no entorpecer el crecimiento y actividad natural de las células en contacto con el biomaterial. Este objetivo no ha sido realista, por inevitable, y actualmente se buscan materiales que interaccionen de forma adecuada con las células. La ingeniería de tejidos —como se llama ahora a esta especialidad médica— busca materiales que proporcionen a las células implantadas un sustrato —un andamio— para que se adhieran y un soporte físico que guíe la formación de nuevos órganos. Las células transplantadas adheridas al andamio, proliferan, segregan sus propias matrices extracelulares, y estimulan la formación de nuevos tejidos. Durante este proceso, el andamiaje se va degradando y puede llegar a desparecer. El biomaterial de la armadura debe ser un material multifuncional; capaz de facilitar la adhesión de las células, estimular su crecimiento y permitir la diferenciación. También debe ser biocompatible, poroso, resistente, maleable y biodegradable. Los hilos de seda de las arañas cumplen todos estos requisitos.

Una aplicación prometedora de los hilos de seda está en la reconstrucción del ligamento cruzado anterior, una opción muy interesante por la cantidad de roturas que se producen y por la dificultad de su recuperación. Se han fabricado haces de cordones con hilos de seda, se han sembrado con las células adecuadas y se han instalado en biorreactores donde se han sometido a esfuerzos mecánicos que simulan la biomecánica de la rodilla humana. Al cabo de un cierto tiempo se ha observado que la matriz de seda favorece la adherencia celular, el asentamiento de los productos extracelulares y que se genera un tejido similar al del ligamento. Los primeros intentos se han hecho con seda del gusano de seda[8] y se espera mejorar los resultados cuando se utilicen las sedas de las arañas.

Otra aplicación parecida es la producción de tejido óseo. Los implantes metálicos tienen, a largo plazo, problemas de adherencia y los implantes autólogos tienen otros inconvenientes (la lesión producida y el tiempo de rehabilitación). La solución basada en un implante resistente y capaz de fabricar tejido óseo análogo al del receptor es la mejor. Con los hilos de seda se pueden fabricar estructuras porosas y resistentes que, una vez sembradas con las células adecuadas, se degraden lentamente y permitan que el implante se remodele con el tiempo. La paulatina degradación de la matriz de seda permite controlar la deposición de hidroxiapatita que acaba formando una matriz trabecular como la del hueso. Se han hecho experimentos con ratas[9] y se ha comprobado que los implantes de tejido óseo de estas características (desarrollado en biorreactores cinco semanas antes) se integran bien e inducen la formación de hueso al cabo de pocas semanas.

El tejido cartilaginoso es otra oportunidad para las sedas; las lesiones del cartílago son difíciles de resolver porque no se regenera. Una solución sería fabricar tejidos basados en matrices que permitan la regeneración del cartílago, es decir; que sean biocompatibles, resistentes, flexibles, que faciliten el desarrollo celular y que a su debido tiempo se reabsorban. Ya se han hecho intentos utilizando capullos de seda de la araña *Araneus diadematus* con resultados satisfactorios[10]. Todos estos experimentos demuestran la viabilidad de los implantes basados en matrices de seda.

La reparación de terminaciones nerviosas es otro problema que obviamente tiene un gran interés y que, de momento, tiene difícil solución. De nuevo, parece ser que las fibras de seda pueden ser de alguna utilidad, con ellas se han fabricado pequeños tubos que sirven de guía y protección para los axones capaces de rebrotar. Estos tubos pueden servir para suministrar factores de crecimiento que favorezcan la regeneración del nervio y degradarse después, cuando hayan cumplido su misión[11].

La imaginación de los fascinados por el asombroso potencial de los hilos de seda no tiene límites: Por citar un ejemplo, se está experimentando con quimeras de seda de araña y sílice de diatomeas para fabricar biomateriales en los que se puede controlar el tamaño y la forma de las partículas de sílice[12]. En esta misma dirección, la proteína 1 de la dentina (responsable de la formación hidroxiapatita en los mamíferos) se ha combinado con la seda de araña para obtener una quimera proteica fibrosa que servirá para reparar tejidos duros[13].

Los hilos de seda de las arañas, como biomateriales, están destinados a tener un gran protagonismo en medicina por sus propiedades mecánicas, biocompatibilidad, estabilidad térmica y facilidad de esterilización, degradabilidad, y capacidad de modificarlos genéticamente. La exploración de sus posibilidades acaba de empezar y la medicina regenerativa ha puesto muchas esperanzas en estas fibras.

Veterinaria

En muchas zonas rurales existe el convencimiento de que las heridas que se producen en el ganado y en otros animales domésticos se pueden curar aplicando sobre la lesión un emplasto de telarañas.

Las propiedades hemostáticas de las telarañas ya fueron descritas por Plinio el Viejo, hace casi 2.000 años. Hay datos que hacen pensar que esta práctica se mantuvo con el tiempo porque en la batalla de Crecy, en 1356, las tropas francesas habían hecho acopio de telarañas para impedir las hemorragias[14]. Aunque esta costumbre se ha abandonado entre los humanos parece ser que todavía se practica con los animales. El éxito relativo —cuando no se produce una infección— puede ser debido a que la seda de captura, la circunferencial, está recubierta con hongos que contienen penicilina —para evitar que otros microorganismos se coman la tela— y puede tener un efecto antibiótico. Aún así, si la telaraña no es reciente, lo más probable es que acabe infectando la herida.

Siendo la *veterinaria* la ciencia y arte de prevenir y curar las enfermedades de los animales y dado el escaso éxito, en nuestros días, de las arañas y sus telas para curar las dolencias de los animales, mejor será referirse a las enfermedades y riesgos que pueden afectar la vida de las arañas para saber, por lo menos, cómo prevenirlos.

Los enemigos de las arañas

Las arañas pueden ser infectadas por parásitos; los nematodos son los más frecuentes. Estos gusanos, en su etapa juvenil, penetran en el abdomen de la araña y se alimentan con sus tejidos. La mayoría de las arañas mueren poco antes, o después, de abandonarlas el parásito.

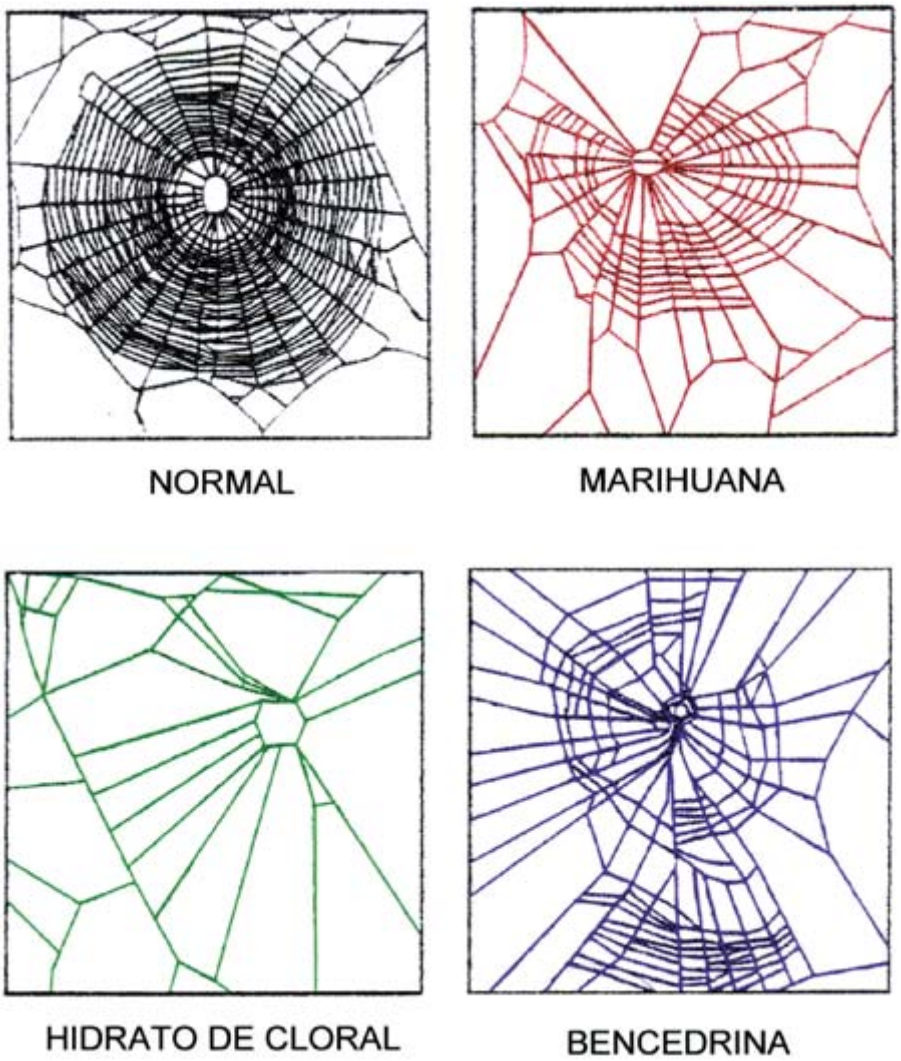
Entre los insectos, algunas avispas son los mayores enemigos de las arañas. Las de la familia *Pompilidae* solamente cazan arañas, mientras que las avispas alfareras (*Sphecidae*) cazan insectos y arañas. La suerte de la araña es siempre la misma; la avispa la paraliza con su aguijón y deposita sus huevos en el abdomen de la araña. Cuando la larva de la avispa eclosiona se alimenta con los tejidos vivos de la araña paralizada hasta que ésta muere.

Las diferentes especies de avispas cazadoras de arañas utilizan estrategias distintas; unas paralizan temporalmente a las arañas mientras depositan sus huevos y después se alejan volando, mientras que otras excavan un hoyo y entierran la araña paralizada en él. En general, estas avispas no cazan una especie particular de arañas, aunque tienen ciertas preferencias. Hasta las grandes tarántulas pueden ser sus víctimas; se sabe que la avispa gigante *Pepsis*, cuyo tamaño alcanza los 8 cm, persigue a las tarántulas hasta dentro de sus madrigueras[15]. Esta descomunal avispa es extremadamente selectiva con sus presas; si se la encierra en una caja con una especie equivocada de tarántula no la ataca o, incluso, puede sucumbir al ataque de la araña.

Las avispas alfareras se dedican principalmente a las arañas que tejen telarañas[16]. Cuando las han inmovilizado las encierran en cavidades naturales o en nidos de barro que construyen y que se asemejan a los tubos de los órganos. Hasta la venenosa viuda negra no se libra del ataque. Una sola avispa de esta especie puede tener un impacto notable en la población de las arañas, ya que una hembra puede cazar entre 100 y 300 arañas durante el verano.

Las arañas también tienen enemigos entre los vertebrados; algunos peces —las truchas en particular— se suelen comer las arañas que caen al agua. Las ranas y los lagartos también comen arañas ocasionalmente. Lo mismo sucede con los pájaros. Entre los mamíferos, las musarañas y los murciélagos cazan arañas y se sabe que algunos monos también las comen. Las grandes arañas tropicales han formado parte de la dieta de los indios del Amazonas, de los bosquimanos de Africa del Sur y los aborígenes de Australia. En Camboya, Laos o en China todavía se pueden ver en los mercados algunos vendedores que ofrecen jugosas brochetas de arañas a la brasa. Según proclaman los chefs, la persona que come arañas vivirá diez años más.

Pero el peor enemigo de las arañas, como suele suceder en otras especies, son ellas mismas. Las arañas pirata (*Mimetidae*), se alimentan exclusivamente de otras arañas, y las arañas saltarinas o saltícidos (*Portia*), que también prefieren atacar a otros congéneres, utilizan técnicas de caza muy sofisticadas para atraer a su presa —engañan a la víctima vibrando la telaraña para que se confíe y crea que ha caído un insecto en su red, o que la reclama el macho—, y cuando la tienen cerca se abalanzan sobre ella y la inoculan su veneno que la paraliza en apenas diez segundos[17].



La telaraña que fabrica la *Araneus diadematus* se modifica cuando la araña se expone a distintas drogas: el hidrato de cloral es un sedante y la bencedrina un estimulante. (Datos del Marshall Space Flight Center, NASA)

Farmacia

De nuevo, los tejidos de seda nos pueden ayudar, esta vez en el ámbito de la *farmacia*. Con la seda de las arañas se pueden fabricar microcápsulas para administrar fármacos que sean biocompatibles, resistentes y fácilmente funcionalizables.

Los hilos de seda de la araña de jardín (*Araneus diadematus*) han inspirado este tipo de cápsulas[18]. Mediante ingeniería genética se ha fabricado una proteína, llamada C_{16}, que imita parcialmente la proteína ADF-4 que segrega la araña. Las microcápsulas se forman cuando esta proteína se adsorbe sobre microgotas de aceite que previamente se ha emulsionado en una solución acuosa. El tamaño de las microcápsulas se puede controlar ajustando el tamaño de las gotas, por este procedimiento se consiguen cápsulas entre 1 y 30 micras de diámetro. La microestructura de las cápsulas —por lo que indica la espectroscopia infrarroja— es parecida a la del hilo de seda de la araña y les confiere una gran resistencia y tenacidad, lo cual es necesario si tienen que almacenar ingredientes muy concentrados y soportar la elevada presión osmótica que van a generar. Otro aspecto muy interesante es la posibilidad de funcionalizar la proteína C_{16} durante su producción, adaptándola a las necesidades del fármaco. Para ello, si se incorporan determinadas secuencias de aminoácidos se puede conseguir que la membrana se degrade en presencia de encimas específicas de los tejidos a donde va dirigido el fármaco.

No sólo los hilos de seda pueden ser una valiosa ayuda para administrar fármacos, sino la forma en que las arañas tejen sus telas en presencia de diversos productos químicos puede ser de utilidad a la industria farmacéutica.

La telaraña; un laboratorio para evaluar drogas

Los científicos de la NASA que trabajan en el Marshall Space Flight Center, en Alabama, han descubierto que pueden utilizar las habilidades de las arañas cuando tejen sus telas para evaluar la toxicidad de algunos componentes químicos[19].

El procedimiento consiste en analizar la forma de las telarañas antes y después de que la araña haya sido expuesta a una determinada sustancia. Este método proporciona una alternativa a los ensayos con animales superiores, que son más costosos, requieren más tiempo, y que están legalmente más restringidos.

Parece ser que cuanto más tóxico es el producto más diferente es la red en comparación con la original. Algunos rasgos comunes entre las telarañas y las redes cristalográficas han permitido a los científicos de la NASA aplicar técnicas de análisis estadístico —desarrolladas para estudios cristalográficos— a las fotografías de las telarañas que se han tejido en condiciones normales y en ambientes tóxicos, y obtener datos cuantitativos de la toxicidad. Las imágenes de las telarañas se digitalizan y se procesan con un programa de análisis de imagen que calcula varios parámetros de las redes; número de celdas, su perímetro, número de lados, área, etc. La toxicidad es tanto mayor cuanto mayor es la discrepancia con los datos de la red de referencia.

En presencia de marihuana, por ejemplo, las arañas tejen redes incompletas —inspirándose en la red original pero con toques arbitrarios, como hacen algunos artistas—. Cuando se utiliza el hidrato de cloral —que es una droga hipnótica y sedante— abandonan muy pronto, apenas empiezan a tejer la red. Con la bencedrina —una anfetamina estimulante del sistema nervioso central— tejen las redes con ímpetu pero, aparentemente, sin planificar y dejando grandes huecos. En presencia de cafeína, otro estimulante, el aspecto de las redes es una maraña de hilos que recuerda poco el diseño original. Los resultados obtenidos hasta la fecha parece que permiten discriminar entre distintos tóxicos pero, de momento, conviene esperar para valorar el alcance de este ingenioso procedimiento.

5.- BELLAS ARTES

Las arañas y sus telas han sido una fuente de inspiración para los artistas de todas las épocas; encontramos pinturas rupestres de arañas, bajorrelieves de arañas en monumentos megalíticos, esculturas de arañas monumentales en los museos de arte moderno, los arquitectos imitan sus estructuras ligeras y, hasta los músicos han compuesto ballets donde la araña es la protagonista.

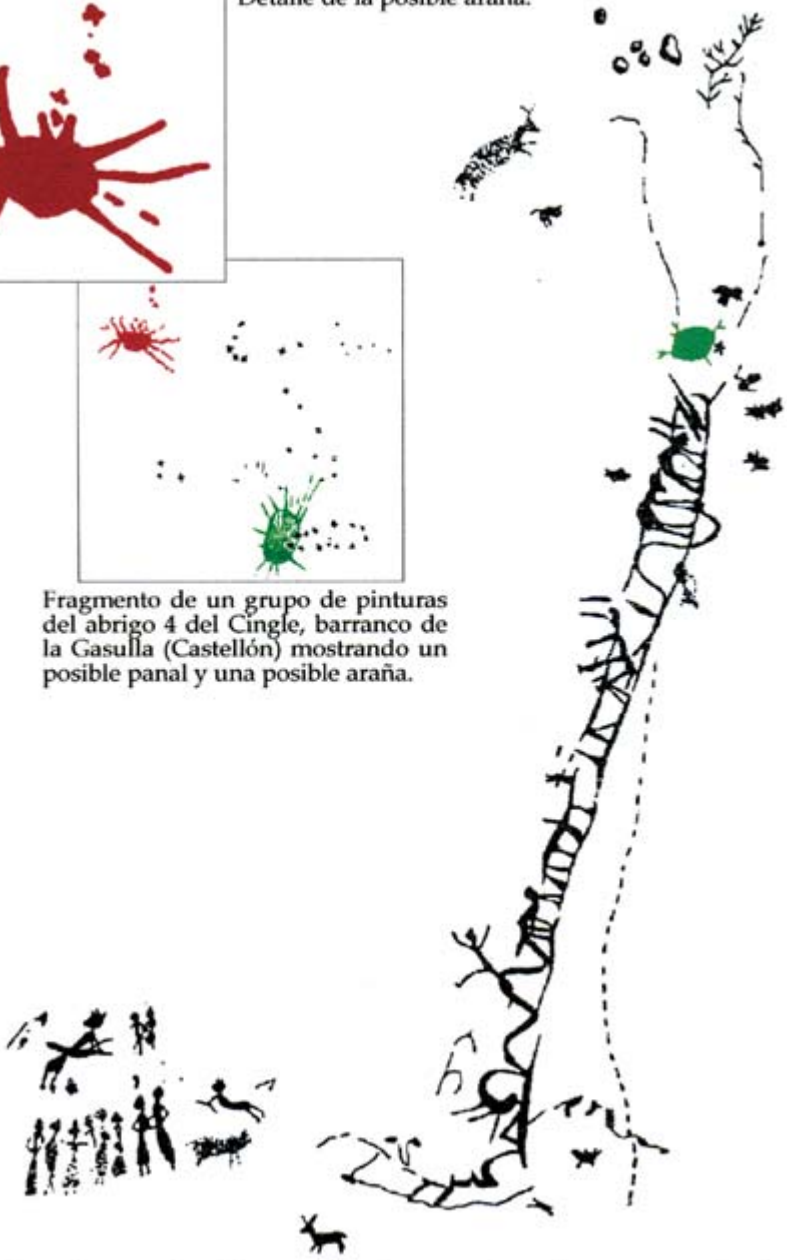
Las arañas del viejo continente

En una cavidad de *El Cingle*, en el barranco de la Gasulla (Castellón), se puede observar una pintura rupestre que bien podría ser una araña; un cuerpo globular (que simbolizaría el abdomen) del que salen ocho tentáculos (las ocho patas, aunque una está un poco desdibujada) y otros dos más pequeños (los quelíceros, posiblemente) que dan la impresión de estar atrapando dos moscas (representadas por dos pequeñas cruces). De ser cierta esta interpretación, nos encontraríamos frente a la primera representación conocida de una araña que podría datarse, con todas las reservas, a partir del 4000 AC. Las pinturas rupestres del arte levantino español se han fechado entre los 8000 AC y 2000 AC[1].

El conjunto de abrigos pintados del barranco de la Gasulla fue descubierto en el verano de 1934 por M. Fabregat y G. Espresati. En seguida los visitó el pintor J.B. Porcar, junto con H. Obermaier y el abate H. Breuil[2]. En los abrigos de la Gasulla destacan dos conjuntos de pinturas; el llamado de *El Cingle*, con diez cavidades pintadas, y el de la *Cueva Remigia*. Por lo menos hay otros tres dibujos parecidos al descrito anteriormente (dos en la *Cueva Remigia* y otro en *El Cingle*). A los cuatro, Obermaier los calificó de "arañas". Posteriormente Porcar dudó de esta interpretación y los llamó "colmenas"[3] basándose en la semejanza con detalles de otras pinturas que, claramente, muestran colmenas, enjambres de abejas y figuras humanas recolectando miel.

Detalle de la posible araña.

Fragmento de un grupo de pinturas del abrigo 4 del Cingle, barranco de la Gasulla (Castellón) mostrando un posible panal y una posible araña.



Escena de recolectores de miel con varias figuras en la escalera y un panal en la cima (Cingle de la Ermita del Barranc Fondo, Castellón).

En la cueva de *La Araña* (en Bicorp, Valencia), se pueden observar dos figuras humanas que trepan hacia una colmena para recoger miel, "una bella escena de la recolección de miel silvestre, conjunto maravilloso de expresión realista en la tramoya escénica de la composición", según palabras de Porcar. En otra escena parecida de recolección de miel, (Cingle de la Ermita, en el Barranc Fondo, Castellón) también destacan varias figuras humanas encaramadas en una escalera y al final una especie de panal (que tiene un cierto parecido con las arañas) con abejas que revolotean a su alrededor. Conviene hacer notar que también en la India y en el continente africano se han descubierto pinturas rupestres con representaciones de recolección de miel que culturalmente se asocian a los del arte levantino.

Bajo esta interpretación, las "arañas" de Obermaier serían representaciones convencionales de colmenas. Según Ripoll, "los apéndices salientes arriba y debajo de estas extrañas figuras serían unos ramajes atravesados a la colmena para sostenerla entre los troncos de los árboles o en las grietas de los acantilados. Estas colmenas estarían hechas de cestería o de cuero, con ramas más pequeñas en el interior para mantenerlas huecas"[4]. Difícilmente pueden hacerse identificaciones de los insectos representados porque el realismo entomológico no era la principal característica de estas pinturas. Aún así, una de ellas podría ser una araña, y las restantes colmenas. Lo cierto es que las escenas de recolección de miel nos pueden permitir reconstruir la silueta y las actividades del apicultor nómada más primitivo del levante español.

La aparición de la escritura en la civilización sumeria, hacia 3500 AC, suele utilizarse para marcar el inicio de la historia de la humanidad. Curiosamente, la entomología cultural de esta civilización es aracnológica; el escorpión y la araña son los dos artrópodos más importantes en su mitología. Apenas hay iconografía de las arañas y la información disponible procede de fuentes escritas. Una de las pocas imágenes de esta época es un sello cilíndrico (procedente de Uruk, período Jemdet Naar, ca 3000 AC) en el que están representadas dos mujeres, con trenzas y sentadas en sendos divanes, venerando una enorme araña[5]. Una de ellas extiende sus brazos hacia la araña y la otra sostiene en sus brazos un objeto triangular con una esfera a cada lado. La araña protege el granero de Ianna (diosa de la fertilidad y tejedora del destino) del ataque de los insectos.

En la mitología egipcia la araña tuvo un papel importante, aunque no tanto como el escorpión. Como en Mesopotamia, las representaciones de la araña son prácticamente inexistentes a pesar de la extraordinaria productividad de los artistas egipcios y de ser el símbolo de la diosa Neith, la madre de los dioses. En las figuras aparece con un extraño símbolo sobre su cabeza para el que no hay una interpretación unánime. Al ser una diosa guerrera, algunos consideran que el símbolo es un escudo cruzado por dos flechas. Otros, que es una lanzadera de tejedor. A. Melic dice[6] "no me resisto a aportar una tercera posibilidad; la de una araña esquematizada, equivalente al símbolo que la diosa Selket porta en su cabeza, un adorno que simboliza un escorpión". La araña terminó convertida en un mito creador, primero como madre de Ra y luego como madre de todos los dioses, asociada a la fertilidad, a la caza y a la guerra. Fue considerada, también, la inventora del tejido y patrona de las hilanderas. Con todos estos atributos parece evidente la relación de Neith con la araña en sus múltiples facetas de divinidad creadora, experta cazadora y consumada tejedora.

Las representaciones de la araña también escasean en la mitología griega. La araña, como tal, no figura pero sus atributos —astucia y habilidad— están encarnados en Atenea, hija de Zeus, famosa por su astucia y taimadas estrategias. Era la diosa de la guerra, la industria, la artesanía y la justicia. Era la protectora de los oficios y de las actividades domésticas tradicionalmente femeninas como hilar y tejer; por esta razón *Aracné* retó a Atenea y no a otras divinidades, quiso medirse con la diosa del hilado y fracasó, como veremos más adelante.

Hace 2000 años los pobladores de las llanuras de Nazca, en Perú, nos dejaron grabada en tierra la imagen de una enorme araña. Esta vez el dibujo no ofrece dudas; la figura de unos 30 metros muestra claramente la cabeza con sus dos quelíceros, el torso con sus ocho patas, y un abdomen abultado[7]. Aún así, tampoco sabemos con certeza la finalidad de este y otros enormes dibujos que la acompañan.

En las pampas de Nazca, a 450 kilómetros al sur de Lima y cerca del océano Pacífico, puede observarse un insólito paisaje arqueológico formado por cientos de líneas rectas, triángulos y espirales. Lo más llamativo son los dibujos de animales entre ellos; un cóndor, un colibrí, un mono, una lagartija, una ballena y la araña antes mencionada. Curiosamente, por sus grandes dimensiones algunos de estos dibujos pasan desapercibidos desde tierra. Cada conjunto de líneas sólo puede ser observado en su totalidad desde el aire, por lo menos a doscientos metros de altura. Este hecho ha propiciado todo tipo de hipótesis sobre su significado y finalidad.

La superficie de la pampa es una capa de guijarros de color rojizo oscuro que cubre otra de color amarillento claro. Basta retirar las piedras superiores para que resalte el fondo. Los nazcas se limitaron a apartar las piedras siguiendo un trazado que previamente habían señalado con estacas unidas por cordeles, copiando un modelo a menor escala. La profundidad de las líneas no excede de los 30 cm y su anchura oscila entre los 4 cm y un metro. El relieve de estos dibujos —llamados *geogliptos* (de *geos*, tierra y *glíptica*, arte de grabar en piedra)—, se observa mejor cuando el sol está bajo. El clima se ha encargado de su conservación; este desierto es uno de los lugares más secos del mundo, con un promedio de media hora de precipitación cada dos años, lo que ha evitado que sean borrados por lluvias torrenciales. Desde 1994 la UNESCO ha declarado los geogliptos de Nazca y de Pampas de Jumana, patrimonio de la humanidad.

La primera referencia que se tiene de estos dibujos a ras del suelo es del conquistador español Cieza de León, en 1547. El corregidor Luís Monzón quiso darles un sentido y escribió en 1568 que las líneas eran carreteras. El antropólogo Paul Kosok, al observarlas desde un avión e influido por las ideas de María Reiche (que dedicó media vida a estudiar los geogliptos) sugirió que eran un gigantesco calendario astronómico. Recientemente, los arqueólogos John Isla y Markus Reindel sostienen que el significado de

estas figuras está relacionado con la importancia del agua para la cultura Nazca, que consiguió alcanzar un gran desarrollo en una de las zonas más áridas del planeta. Los dibujos formaban un paisaje ritual cuyo fin era propiciar la provisión de agua. De todos modos, el significado concreto de la araña, una de las primeras figuras que identificó María Reiche, sigue siendo un misterio.

La araña, en particular la Mujer Araña, tiene un gran protagonismo en los mitos de los indios de América del Norte y su figura, realista o abstracta, aparece en las manifestaciones artísticas de estos pueblos.

Los indios del Misissippi adoraban a una deidad del fuego o del sol, que representaban en sus dibujos con una cruz que situaban sobre el torso de la araña, símbolo de equilibrio, y que se creía había dado el don del fuego a los hombres. La Mujer Araña, según la leyenda, es la que enseñó a tejer a los indios navajos. En sus mantas se pueden ver dibujos abstractos que representan a la Mujer Araña (en forma de una cruz) y a sus dos gemelos (en forma de una línea quebrada y dos triángulos invertidos) que fueron los que engendraron al pueblo navajo[8].

Las arañas van a los museos

En Göbekli Tepe, Turquia, hay unos monumentos megalíticos muy parecidos a las *taulas* de mi Menorca natal. Son enormes pilares en forma de T rodeados por monolitos. Lo curioso es que algunos pilares están profusamente decorados con símbolos y enigmáticos relieves de animales, entre los que se puede vislumbrar una araña. De ser cierto, se trataría del bajorrelieve conocido más antiguo de una araña, ya que estos extraños monolitos se erigieron por cazadores-recolectores hace unos 11.000 años, en opinión de Klaus Schmidt[9].

El yacimiento de Göbekli Tepe (literalmente *monte ombligo*, en turco) está situado en la cima de una colina y sólo se ha excavado una pequeña parte del lugar; cuatro recintos de unos veinte. Lo más característico son las pilastras en forma de T, de varios metros de altura y que pesan unas 10 toneladas. La mayor de ellas, todavía no excavada completamente, puede llegar a los 5 metros de altura. En cada recinto, los pilares —alrededor de

doce— están dispuestos en forma de círculo, equidistantes e interconectados por un muro, más bajo, de piedras. En la parte central hay dos pilares de mayor tamaño y mejor acabado. Muchas pilastras están decoradas con bajorrelieves de leones, gacelas, osos, asnos salvajes, serpientes, pájaros, insectos y *arañas* (según A. Currey[10] y el propio K. Schmidt[11]).

Klaus Schmidt, que está al cargo de las excavaciones, opina que Göbekli Tepe no era un asentamiento, si no un santuario del período PPN (Pre-Pottery Neolithic). Según él, estos grandes círculos de piedras decoradas se erigieron antes de que el hombre trabajara los metales, fabricara cerámica, domesticara a los animales y, muy probablemente, antes de que fuera agricultor. El interés y la motivación de aquellos hombres por esculpir una araña en la roca sigue sin tener una respuesta aunque no por ello deja de asombrarnos cuando contemplamos estas obras de arte.

En la actualidad, Louise Bourgeois también nos sorprende con su colección de gigantescas esculturas de arañas, realizadas con acero, bronce y mármol, esparcidas por varios museos del mundo. Su primera gran escultura la exhibió en 1993 en el museo de Brooklyn, Nueva York. En 1997 la National Gallery of Art, en Washington DC, adquirió otra enorme escultura para exhibirla en sus jardines y desde 1999 se puede admirar una monstruosa araña de diez metros de altura en el exterior de la Tate Gallery, en Londres, que Bourgeois ha llamado *Mamá*. Una copia de esta araña instalada en la parte trasera del museo Guggenheim, junto al puente de la Salve, vigila con su presencia inquietante la pinacoteca bilbaína.

Louise Bourgeois ha sido una artista tardía, irónica y fuerte. Toda su obra posee una gran capacidad de conmover al espectador. Sus imponentes arañas, intimidan, amenazan y estimulan extraños pensamientos. Este símbolo, usado repetidamente por Bourgeois, lejos de atemorizar es una imagen protectora; una que ella ha asociado constantemente a su madre. La madre de Louise Bourgeois falleció cuando ella tenía 21 años, pero su memoria ha permanecido viva en sus obras. En un reciente texto la artista nos dice:

"La amiga *(la araña - ¿por qué la araña?)* porque mi mejor amiga fue mi madre, ella fue prudente, inteligente, paciente, dulce, tolerante, delicada, sutil, indispensable, atractiva, y necesaria como una araña …" (Ode à ma mère, 1995)[12].

Santuario en Göbekli Tepe.
Pilar decorado con bajorrelieves,
auténticos jeroglíficos de la Edad de Piedra.

Araña de Louise Bourgeois en el exterior del museo Guggenheim (Bilbao)

Un ballet para la araña

Albert Roussel compuso, a comienzos de 1913, la música para el ballet *Le festin de l'Araignée* y el estreno de la obra, el 3 de Abril del mismo año, tuvo un éxito inmediato.

Los franceses empezaron a tomarse el ballet seriamente a finales del siglo XIX y principios del XX con la llegada de Serge Diaghilev y sus ballets rusos. En 1912 Jacques Rouché, director del Thèâtre des Arts, le pidió a Roussel que escribiera un ballet basado en un cuento de Gilbert de Voisins, inspirado en los *Souvenirs entomologiques* del famoso naturalista Jean-Henri Fabre. Parece ser que al principio Roussel se mostró indeciso —en aquellos tiempos los compositores serios tenían bastantes reticencias para componer música de ballet— pero su esposa acabó convenciéndole.

Albert Roussel (1869-1937) nació en Turcoing, en el norte de Francia. Fue marino y, lo mismo que Rimski-Kórsakov, comenzó a componer durante sus viajes. Más tarde estudió en la Schola Cantorum, con D'Indy, institución de la que llegó a ser profesor. En sus comienzos se nota la influencia de la escuela impresionista. *Le festin de l'araignée* es una de las obras más conocidas de su período medio. En su última etapa, su fuerte individualidad se desprende de anteriores influencias y sus obras mayores —como la tercera sinfonía— figuran entre las más destacadas de la escuela francesa de estos años.

Gabriel Grovlez dirigió el estreno de *Le festin de L'araignée*, Léo Staats coordinó la coreografía y el vestuario corrió a cargo de Maxime Dethomas. Como ya se ha indicado, desde el primer día la obra gustó y su éxito perduró durante mucho tiempo.

La escena se desarrolla en la esquina de un jardín, dominada por una enorme telaraña. La araña, situada en el centro, aguarda sus presas. Mientras tanto, algunas hormigas se afanan en arrastrar un pétalo que se ha desprendido de una rosa.

Una hermosa mariposa revolotea y danza por el jardín ajena al peligro que entraña la red. La araña la convence para que baile cada vez más cerca hasta que consigue atraparla, la mata, y la envuelve con sus hilos de seda.

Al ballet se unen otros personajes; una pareja de astutos *gusanos*, dos *mantis* que se pelean y acaban enredadas en la red, y una *efímera* (un pequeño y frágil insecto volador que en su etapa adulta apenas vive un día) que danza descuidada y brillantemente durante los breves momentos de vida y gloria que tiene antes de morir.

Entretanto la araña prepara su festín con las presas atrapadas, pero una *mantis* logra zafarse de la telaraña y la mata. Mientras la araña agoniza, todos los insectos van desfilando, en procesión, para enterrar a la *efímera*. El ballet finaliza cuando cae la noche sobre el jardín, ya desierto.

En el fondo, *Le festin de l'araignée* es una alegoría sarcástica de los apetitos humanos. Sólo la *efímera* —quizás un reflejo del músico-poeta— se salva con su breve e irónica fantasía. El lenguaje de Roussel en esta obra, poético y muy refinado, marca el cenit de su período impresionista en el que Debussy todavía ejerce una gran influencia. Como curiosidad, el tema del *Preludio* del ballet permaneció durante mucho tiempo en la mente del compositor, pasados algunos años escribía: "No sé por qué el tema del festín de la araña me obsesiona tanto; el *Preludio* donde la flauta, acompañada por el murmullo de los violines, va desarrollando la melodía retorna constantemente a mi mente".

6.- LITERATURA

Las arañas y sus telas han tenido, y tienen, un gran protagonismo en la literatura, lo cual no es de extrañar después de revisar su trascendencia en otras áreas.

Estos curiosos artrópodos son personajes intemporales; aparecen en la antigua mitología —su origen se atribuyó a los celos de la diosa Atenea que transformó en araña a la habilidosa y orgullosa tejedora Aracne— y siguen despertando el interés de los adolescentes a través de los mitos modernos —spiderman y los comics— que triunfan en el cine.

Las arañas y sus telas han dado pie a numerosas fábulas y moralejas. Han sido tildadas de taimadas, tramposas, pérfidas, y hasta de orgullosas; Dante y Virgilio, durante su visita al purgatorio se encontraron con Aracne en la terraza de los soberbios, episodio magníficamente reproducido en un grabado de Gustavo Doré.

Estos animales han despertado siempre sentimientos contrapuestos entre los escritores; Walt Whitman las admiraba y Shakespeare las despreciaba. La aracnofilia no es frecuente pero sí lo es la aracnofobia que ha inspirado novelas y películas. Alfredo Bryce Echenique, en su novela *Los grandes hombres son así. Y también asá*, usa la aracnofobia como telón de fondo para contarnos unos amores, nacidos ente adolescentes, que no se apagaron con los años[1].

"Las Hilanderas". D. Velázquez (Madrid, El Prado).

Detalle del fondo, donde se aprecia a la diosa con su vestimenta de guerrera mandando el castigo de la metamorfosis a Aracne mientras las doncellas observan el acontecimiento

La diosa (en forma de anciana) dirige su mirada hacia una doncella que la está escuchando.

La araña en la mitología griega

El poeta romano Ovidio nos cuenta en *Las metamorfosis* la historia de Aracne[2]. En Lidia, antiguo reino de Asia Menor, vivía la joven Aracne, famosa en toda la región por sus habilidades en hilar y tejer. Había aprendido el oficio de Atenea, una diosa del Olimpo, y con el paso del tiempo surgió la rivalidad y la envidia entre ellas, ya que Aracne alardeaba de que las manos de Atenea no eran más hábiles que las suyas tejiendo. Atenea, celosa, se disfrazó de anciana y fue a visitar a Aracne, le mostró su admiración y le preguntó quién le había enseñado tanta pericia. Cuando la vanidosa Aracne negó que hubiera sido Atenea, la diosa se deshizo del disfraz, mostró su verdadera identidad, y exclamó con ira "Los que desafían a los dioses deben ser consecuentes. Haremos un concurso para ver quién teje mejor".

Aracne no se disculpó ni admitió haber dicho nada que fuera mentira. Por el contrario, se sentó al telar, cogió la lanzadera y se dispuso a tejer historias de dioses y mortales. Atenea hizo lo mismo y empezó a tejer una escena del Olimpo donde Némesis, la diosa de la venganza, arrebataba a los seres que habían osado desafiar a los inmortales. El tapiz quedó precioso, pero el de Aracne todavía resultó más interesante. Había representado escenas de perversidad de los dioses y diosas, de seducción y de artimañas indignas para conseguir siempre sus propósitos. El trabajo quedó perfecto, de tal manera que Atenea no pudo encontrar ningún defecto en él.

Encolerizada por las habilidades e impertinencias de Aracne, Atenea se enfureció, destrozó el telar de la joven y empezó a golpearla con la lanzadera de madera. Ante el asombro de los espectadores, Aracne agarró una cuerda y echó a correr hacia el bosque con la intención de colgarse. "Cuélgate si así lo deseas —le dijo Atenea—, no conseguirás morir así, ni tampoco tus hijos, ni los hijos de tus hijos. Sufrirás por tu insolente locura el resto de tu vida". Después de este conjuro, el cuerpo de la joven empezó a menguar hasta transformarse en una araña condenada a hilar y tejer por los siglos de los siglos.

La araña en las fábulas de Esopo

Esopo relató fábulas personificando animales con la intención de dejar siempre una enseñanza o moraleja. Poco sabemos de él, se cree que vivió entre el 620 y el 560 AC y que fue un esclavo liberado de Frigia. Sus fábulas fueron recreadas en verso por el poeta griego Babrio en el siglo II AC, y el poeta romano Fedro las reescribió en latín en el siglo primero de la era cristiana.

Esopo hace referencia a la *araña* en la fábula del *León y el mosquito luchador*:

Un mosquito dijo acercándose a un león[3]:

"Ni te tengo miedo ni tampoco eres más fuerte que yo, y si no ¿cuál es tu fuerza?, ¿arañar con tus uñas y morder con tus dientes? Esto también lo hace la mujer que se pelea con su marido. Yo, en cambio, soy mucho más fuerte que tú. Si quieres, peleamos".

Y tocando su trompeta el mosquito acometió, picándole en la parte sin pelo del hocico, al lado de las narices. El león, aturdido de dolor al rascarse con sus garras, se rindió. El mosquito, al vencer al león, tocó su trompeta entonando el canto de la victoria y echó a volar. Entonces, se enredó en una tela de araña y, al ir a ser devorado, lamentaba que él que hacía la guerra a los animales más grandes perecía a manos de un bicho miserable: la araña.

La moraleja de esta fábula es que, con frecuencia, *las victorias son efímeras*.

Dicho de otra forma, "no importa que tan grandes sean los éxitos en tu vida, cuida siempre que la dicha por haber obtenido uno de ellos no lo arruine todo".

Esopo ha inspirado e influido en escritores que han desarrollado este tipo de literatura, como Jean de la Fontaine en Francia, en el siglo XVII, Félix María de Samaniego y Tomás de Iriarte, en España en el siglo XVIII, del que se ha seleccionado esta otra fábula sobre el gusano de seda y la araña[4].

Trabajando un gusano su capullo,
la *araña*, que tejía a toda prisa,
de esta suerte le habló con falsa risa,
muy propia de su orgullo:
"¿Qué dice de mi tela el señor gusano?
Esta mañana la empecé temprano,
y ya estará acabada al mediodía.
¡Mire qué sutil es, mire qué bella! ...."
El gusano, con sorna, respondía:
"¡Usted tiene razón; así sale ella!"

La moraleja de esta fábula es que "se ha de considerar la calidad de la obra y no el tiempo que se ha tardado en hacerla".

Hoy en día sabemos que el gusano se equivocaba en su juicio.

La araña en el cómic

Una persona capaz de producir hilos de seda como las arañas —con los que encaramarse por los rascacielos y perseguir a delincuentes— fue la que dio pie a uno de los más fascinantes personajes del cómic; *spiderman*.

La picadura de una araña radioactiva fue la que otorgó a Peter Benjamin Parker el poder de transformarse en un superhéroe capaz de lanzar hilos de seda a gran distancia y desplazarse por los edificios de las ciudades para atrapar a los malvados que amenazan la seguridad de los ciudadanos.

Este personaje, creado por el escritor Stan Lee y el dibujante Steve Ditko, nació en 1962 y desde entonces continúa manteniendo su popularidad y éxito comercial. Cuando apareció Spiderman, los superhéroes de los cómics eran adultos y no adolescentes y, quizás, ésta fue una de las razones de su éxito entre los muchachos. Además, Peter Parker era un estudiante obsesionado con la soledad y el rechazo de sus compañeros, rasgos con los que muchos lectores jóvenes se podían identificar. Lo cierto es que al cabo de medio siglo, Spiderman ha sido la estrella de varias series de televisión, tres películas con bastante éxito y sigue protagonizando una colección de cómics.

7.- CIENCIAS SOCIALES

En este capítulo se hace referencia a dos secciones de la Academia: *Derecho* y *Economía*. En ambas, el protagonismo lo tiene la *telaraña*, usada como símbolo: En Derecho, las leyes y los jueces pueden parecerse a las telarañas. En Economía se utiliza el modelo de la telaraña para explicar por qué los precios pueden estar sometidos a fluctuaciones periódicas en algunos tipos de mercados.

Derecho

Las telarañas se han usado como metáfora en el campo del Derecho. Unas veces refiriéndose a las leyes, cuando parece que se han escrito para atrapar a los pobres y liberar a los opulentos, y otras apuntando hacia los jueces, que pueden ser rigurosos con los desvalidos y débiles con los poderosos.

La telaraña al ratón deja y a la mosca apaña

Desde tiempos remotos se ha asociado la fragilidad de la justicia con la debilidad de las telarañas. Una de las anécdotas más antiguas se refiere a un diálogo entre Anacarsis y Solón. Poco se sabe sobre Anacarsis[1], un príncipe escita que viajó mucho por Grecia y adquirió reputación de sabiduría. Al pasar por Atenas, visitó al legislador Solón que le expuso su idea de que los hombres cumplen los contratos cuando ninguno de los que firman tiene interés en quebrantarlos, y que él había hecho leyes que nadie tendría interés en quebrantar, ya que tendría más interés para los ciudadanos observarlas que desobedecerlas. Anacarsis le reprochó la ingenuidad de creer que sus leyes iban a contener las injusticias y frenar la codicia de los habitantes, y comparó las leyes a meras *telarañas*, que enredan y detienen a los débiles y flacos que con ellas chocan, pero son destrozadas por los poderosos y ricos. Plutarco, que es quien cuenta la anécdota[2], se inclina a pensar que Anacarsis andaba más en lo cierto que Solón.

Sebastián de Horozco, en 1570, nos recuerda esta anécdota en el castizo proverbio *La tela de araña al ratón dexa y a la moxca apaña*[3]:

La araña viéndose ella tan grande hilandera y texedera determinó de hazer una red con que pescase y caçase animales que comiese. Y hízola. Y luego púsose en açecho a la boca de su agujero para en cayendo el animal asille. Y pasó un gato. Y rompiole toda la tela y red y fuése. Ell araña desque la vido rota tornó a hilar y texer. Y hizo otra y tornóse a poner en açecho. Y pasó el ratón. Y también la rompió. Y fuése. Ella tornó a hilar y texer y hizo otra y tornóse a poner en açecho. Y llegó un escarabajo el qual con sus çancas se enredó. Mas arañando todavía hizo un agujero en la red por donde se salió y se fue. La araña muy enojada de ver que todos le rompían la red y se le yvan, tornó a hilar y adobó el agujero de la red y dixo, "Pues alguno vendrá que pague por todos." Y puesta en açecho llegó una moxca. Y en llegando a la tela enredóse en ella. Y salió luego ell araña y apañóla. Y estando así asida dixo la moxca a la araña, "Déxame ir, por tu vida, que yo poco valgo y poco te puedo aprovechar. Que soy una cosa tan poca como ves y de tan poco valor. Sí los otros animales prendieras tuvieras qué comer. Mas en mí, ¿Qué puedes tener? Déxame ir que yo te prometo de enviarte acá cosa que más provecho te tenga que yo." Dixo la araña, "Yo no tengo fuerças ni poder contra los poderosos. A ti que puedes poco y tienes pocas fuerças he prendido. Tú pagarás por todos. No te quiero soltar y otras como tú cayrán. Y con esperança que tú me enviaras otra cosa más, no será cordura soltarte. Pues, "Que vale más páxaro en mano que águila volando." Y así la chupó. Y lo mismo hizo a otras muchas que después cayeron, por donde se verifica el presente proverbio que dize que *la tela de la araña al ratón dexa y a la moxca apaña.*

y añade, recalcando, que las leyes escritas de los hombres son muy semejantes a las telas de las arañas

"porque ansí como las telarañas pueden tener presas las moscas o mosquitos u otros pequeños animales sin fuerça, pero son rompidas de los animales más fuertes. Así las leyes escritas pueden refrenar los apetitos del vulgo y tener como presos a los que son más débiles y abatidos en el pueblo. Pero son rasgadas y despedaçadas de los que son ricos y poderosos."

Pocos años después, Gabriel del Corral, escribía el siguiente epigrama[4]

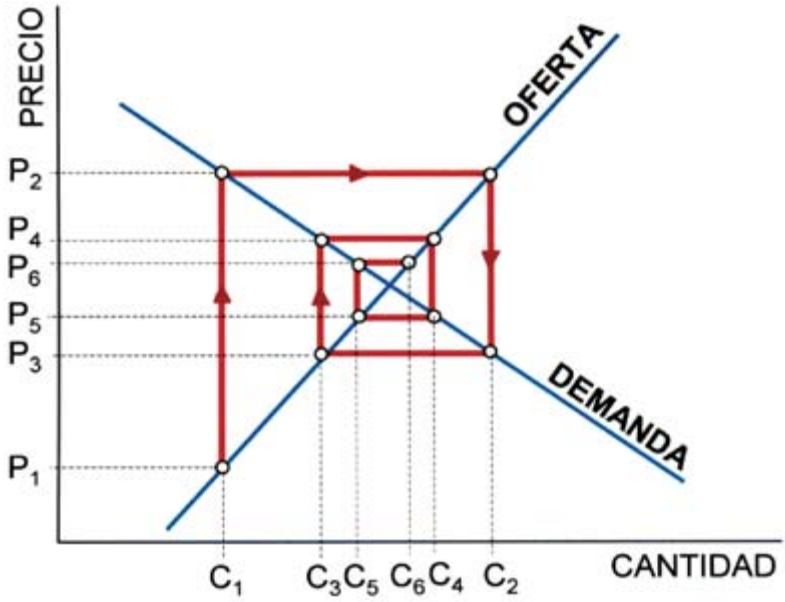
"Que a la ley Solón famoso
la llamó tela de araña,
que sólo al pobre enmaraña,
rompiéndola el poderoso".

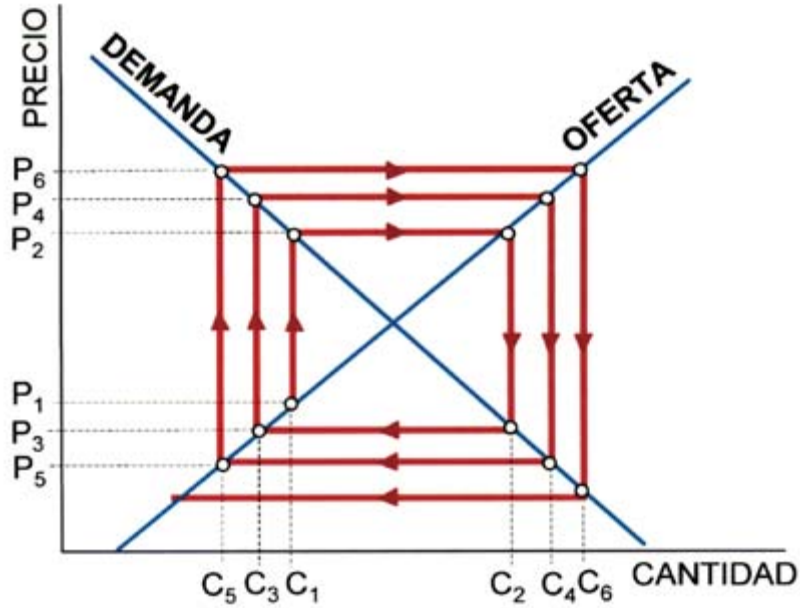
Juan Luis Vives, en su *Obra jurídica*, trata el mismo asunto pero insiste en la importancia que tiene para la aplicación de la justicia la actuación del juez cabal; es el juez la telaraña y no las leyes. Veamos cómo lo narra en el capítulo llamado *El santuario de las leyes*[5].

Vives llega a una ciudad donde se celebran las asambleas jurídicas. En el centro de ella se alza una grandiosa fortaleza, penetra en ella y contempla una torre insólita; *El santuario de las leyes*. Allí encuentra un portero viejísimo que custodia la entrada de la torre.

Al preguntarle Vives quién habita en la torre, el portero le contesta: La Ciencia del Derecho necesita renovación y las leyes deben dignificarse. Su debilidad se debe a los complejos comentarios de los postglosadores y a la conducta indigna de los retorcidos picapleitos que buscan enriquecerse y darse buena vida. Sería deseable que personas como vos custodien el santuario y expulsen de él a los malos juristas. Si un *juez justo* interpreta las leyes, el edificio no es como se ha dicho *tela de araña*, son los *jueces venales* los que la fabrican para atrapar a los débiles y dejar escapar a los poderosos.

Vives insiste en el papel del juez al decir que las leyes, aunque justas por sí mismas, son mudas, sordas y ciegas, siendo los jueces quienes las hacen hablar, oír y ver. Estos, cuando se ajustan a las normas de la justicia, se mantienen incorruptibles pero existen jueces débiles ante los poderosos y rigurosos con los humildes. De tales jueces se puede decir que son telas de araña que atrapan a diminutos animales y ceden ante los grandes, e incluso ante los pequeños si lo quieren los mayores[6].





Las oscilaciones del precio y la cantidad del producto, en un diagrama OFERTA-DEMANDA, se parecen a una telaraña.

Economía

Las arañas y sus telas también han colonizado —real y metafóricamente— el territorio de la economía. En el folclore popular abundan los mitos y supersticiones que relacionan a las arañas con la buena suerte y la inminente llegada de dinero. En Bengala, India, se esparcen arañas en las bodas —como si se tratara de confeti— para desear prosperidad y felicidad a los novios. En Egipto la fortuna tampoco se deja al azar, y en la noche de bodas se deja una araña en la cama de los novios. En Inglaterra existe la superstición de que si uno ve una araña paseando entre la ropa es porque recibirá un regalo, quizás un traje nuevo, o tendrá éxito en los negocios. Posiblemente el nombre de *money spider* que se da a unas arañas pequeñitas y negras provenga de estas creencias, ya que en cualquier caso confiar en ello no cuesta mucho. En otras culturas se cree que las arañas son un buen augurio y que matarlas da mala suerte. Se cuenta que en 1936, un policia en Lamberth Bridge, en Londres, paró el tráfico para que una gran araña cruzara la calle y que los peatones que estaban a su alrededor acabaron ovacionándolo.

El modelo de la telaraña

Los economistas también han recurrido a la araña y su telaraña para ilustrar las oscilaciones de los mercados. La teoría de la *telaraña* es un modelo utilizado en economía para explicar por qué los precios pueden estar sometidos a fluctuaciones periódicas en algunos tipos de mercados. Describe las oscilaciones del suministro y de la demanda en un mercado donde la cantidad de la mercancía debe determinarse antes de conocer su precio, es decir, las expectativas del precio de los productores se basan en los precios que se observaron anteriormente. El modelo de la telaraña fue desarrollado en 1934 por el economista húngaro Nicolás Kaldor[1].

En esencia, el modelo se basa en el retraso que hay entre las decisiones relacionadas con la oferta y la demanda. El ejemplo más simple se encuentra en los mercados agrícolas, donde siempre hay un retraso entre la siembra y la recolección de los productos: Imaginemos el caso en que debido al mal tiempo se ha obtenido una escasa cosecha de fresas. Como consecuencia de la escasez los precios subirán. Si los agricultores piensan que los altos precios se pueden mantener tratarán de aumentar la cosecha para el año siguiente, restringiendo otro producto. Si lo consiguen, lo normal será que los precios bajen de nuevo. En este caso, es posible que

vuelvan a reconsiderar la cosecha de fresas y la reduzcan para el siguiente año, lo cual puede inducir un nuevo aumento del precio de la fruta.

Este proceso puede ilustrarse en un diagrama que refleje los precios en función de la cantidad del producto: En una situación equilibrada el precio es el correspondiente al de la intersección entre las curvas de la oferta y la demanda. Si la cosecha es escasa (Período 1) la oferta será pequeña (C_1) y el precio alto (P_1). Si los productores creen poder mantener este precio producirán en el siguiente período una cantidad mayor (C_2), lo que conducirá unos precios más bajos (P_2). Si este proceso continúa se producirá una oscilación entre períodos de poca oferta y precios elevados y períodos de mucha oferta y precios bajos. La evolución del proceso en un diagrama precio-cantidad se parecerá a una *telaraña*.

Con este modelo pueden darse dos situaciones extremas: Cuando la pendiente (en valor absoluto) de la curva de la oferta es mayor que la de la curva de la demanda, las fluctuaciones disminuyen en cada ciclo y la gráfica de la telaraña es una espiral que converge en el punto de equilibrio. Cuando la pendiente de la oferta es menor que la de la demanda, las fluctuaciones aumentan en cada ciclo y la espiral diverge. En ambas situaciones la figura, formada por las curvas de oferta y demanda junto con la espiral, tiene el aspecto de una *telaraña*, de ahí el nombre de esta teoría.

Este modelo es una aproximación muy simple de las situaciones reales y funciona bastante bien cuando el proceso es convergente o estable, porque los errores entre los precios esperados y los reales disminuyen en cada ciclo. Cuando el proceso es divergente, y las diferencias entre las expectativas crecen después de cada ciclo, un agricultor inteligente difícilmente seguirá empeñado en mantener la teoría de la telaraña y adoptará otras acciones basadas en un mejor conocimiento de los mercados, lo que los economistas llaman *expectativas basadas en la formación*. El modelo de la *telaraña* es un buen ejemplo de la importancia de las *expectativas basadas en la formación* para entender la dinámica de la economía y la dificultad de prever las oscilaciones de los mercados.

8.- TEOLOGIA

La presencia de las arañas y sus telas en los dominios religiosos no es de extrañar por el fuerte simbolismo asociado a estas criaturas. En esta breve incursión sólo se comentan dos aspectos: Las referencias que aparecen en los libros sagrados y la asociación de la araña a uno de los siete pecados capitales; la soberbia.

La araña en el Antiguo Testamento y en el Corán

Las palabras *araña* y *telaraña* aparecen en la Biblia únicamente en el Antiguo Testamento[1]. En él, la telaraña se utiliza como sinónimo de fragilidad, construcción fácil de destruir, y animal detestable.

En el *Libro de Job* se dice:

"La esperanza (del impío) perecerá porque es frágil su confianza y una *telaraña* su seguridad[2]. Se apoya en su morada y no le aguanta, se agarra a ella y no resiste" (Job 8: 14-15).

es decir, el impío basa su confianza en una esperanza fundada en frágiles telas de araña. Tiene una expectativa pero sus bases son endebles. Así, "son las sendas de todos los que se olvidan de Dios" (Job 8: 13).

En el libro de *Isaías*, al comentar lo que separa al pueblo de Dios y refiriéndose a algunos jefes hipócritas de la comunidad judía, les dice:

"… incuban huevos de áspides y tejen *telas de arañas*; el que comiere de sus huevos, morirá, y si los apretaren, saldrán víboras" (Isaías 59: 5)[3].

Los farisaicos judíos son detestables como las arañas.

En el *Libro de los Salmos*, en el capítulo 39, al referirse a la brevedad de la vida y a la pequeñez del hombre ante Dios dice:

> "… Retira de mí tus golpes,
> bajo el azote de tu mano me anonado.
> Reprendiendo sus faltas tú corriges al hombre
> cual *araña*[4] corroes sus anhelos.
> Ciertamente vanidad es todo hombre" (Salmo 39:11-12).

En el *Libro de Oseas*, el pastor profeta, también se menciona la telaraña en sentido metafórico, al insinuar que el ídolo de los israelitas quedará destrozado entre las telarañas.

En el capítulo 8 vaticina el castigo de Israel con el cautiverio …"porque traspasarán mi pacto y se rebelarán contra mi ley" (Oseas 8: 1) … "Ellos establecieron reyes, pero no escogidos por mí; instituyeron príncipes, mas yo no lo supe; de su plata y de su oro hicieron ídolos para sí, para ser ellos mismos destruidos" (Oseas 8: 4) … "Porque de Israel es también éste (ídolo); no es Dios; por eso quedará hecho trizas en las *telas de araña* el becerro de Samaria" (Oseas 8: 6)[5].

El ídolo es endeble ya que basta una telaraña para romperlo (o, quizás, quedar arrinconado entre telarañas).

En el Corán también aparece una referencia a las arañas, en el capítulo (sura) 29, verso 41[6],

> El caso de quienes adoptan protectores
> fuera de Dios es como (la tela que) la
> araña (teje) para protegerse. No hay nada
> más frágil que el cobijo de la araña.
> Si (los idólatras) hubieran utilizado su
> intelecto (no habrían adorado a ídolos
> inútiles).

Lo que se pretende es advertir a los que se alejan de la fe en Dios que acabarán en la inseguridad, como las débiles telas de las arañas. Nuevamente la telaraña, lejos de considerarse un prodigio de ingeniería natural, se revela como algo débil, perecedero y prescindible.

La soberbia, pecado de Aracne y de Lucifer

La araña también se ha asociado a Lucifer, no por su aspecto amenazador ni por usar métodos diabólicos —como el veneno— si no por un pecado capital que comparten el caído ángel de la luz y la habilidosa tejedora Aracne; la *soberbia*.

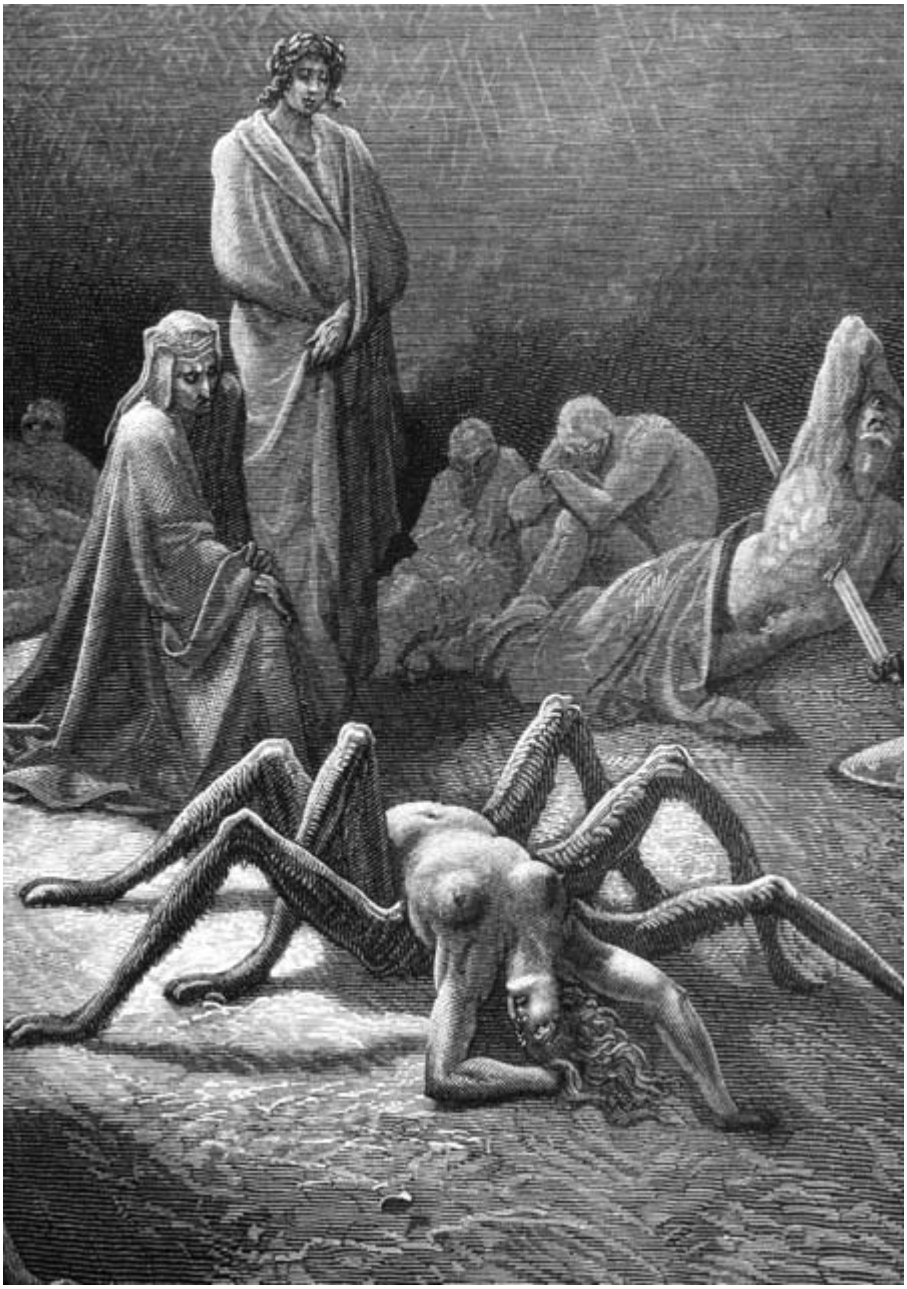
En la Divina Comedia, Dante al visitar el Purgatorio nos describe una galería de personajes célebres por su soberbia. Todos están esculpidos en el suelo de la terraza, como las esculturas de piedra en las tumbas de los cementerios. Empezando con Lucifer:

> "Veía a aquél que noble fue creado
> más que criatura alguna, de los cielos
> como un rayo caer, por una parte" (Canto XII: 25-27)

pasa revista a personajes bíblicos (Nimrod, Holofernes, …) y figuras clásicas, *Aracne* entre ellas

> "Oh loca Aracne, así pude mirarte
> ya medio araña, triste entre los restos
> de la obra que por tu mal hiciste" (Canto XII: 43-45)

y termina la serie con una alusión a Troya, la antigua ciudad que Dante, imitando a Virgilio, llama "la orgullosa Ilión".



Dante, asomado al primer círculo del Purgatorio donde se purga el pecado de la soberbia, contemplando la metamorfosis de Aracne.
(Grabado de Gustavo Doré. Dover Publications, Inc., N.Y.)

Como complemento a la descripción artística de los personajes, Dante hace una pirueta gramatical[7] con la palabra "vom" o "uom" que, en italiano, significa *hombre*; cada alusión consta de tres líneas y cada línea comienza con una de sus letras. De esta forma, Dante recalca que la soberbia es casi inseparable de la condición humana. Virtualmente sinónimo de transgresión en cuanto a primacía —rebelión del hermoso ángel (Lucifer), desobediencia de los primeros hermanos (Adán y Eva), abuso del poderoso Nimrod (Torre de Babel)— la Biblia, en el Eclesiástico, al referirse a la soberbia la identifica como "el origen de todos los pecados".

Para terminar quiero referirme a nuestra patrona, Santa Teresa de Jesús, que también relacionó la soberbia con la araña, (esta vez, al margen de Lucifer y Aracne). En el Libro de las Fundaciones, cuando da "algunos avisos para revelaciones", dice:

"… el bien o el mal no está en la visión, sino en quien la ve y no se aprovecha con humildad de ella, … Porque si lo que ha de ser para humillarse, … la ensoberbece, será como la *araña*, que todo lo que come convierte en ponzoña, o la abeja, que lo convierte en miel".

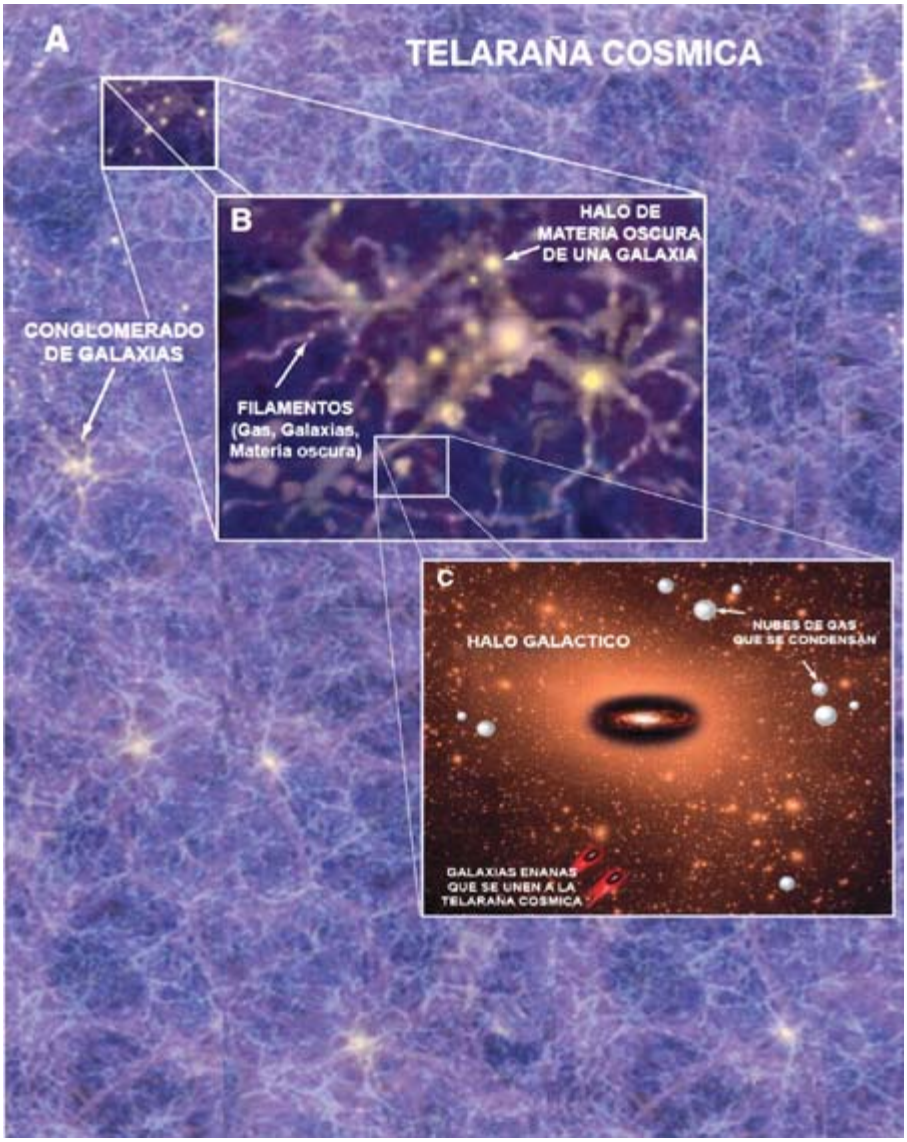


Diagrama que indica la posición de una galaxia típica dentro de la *telaraña cósmica* (según R. Ibata y G. Lewis, Science 2008, **319**, 50).

9.- EPILOGO. LA TELARAÑA COSMICA

Los astrónomos y cosmólogos nos describen el universo como una esotérica *telaraña —the cosmic web*[1]—. Una telaraña donde las estrellas y las galaxias son sus presas. Miles de millones de galaxias, algunas más grandes y otras más pequeñas que nuestra Vía Láctea, inundan el universo y al estudiar su distribución nos encontramos con algo sorprendente: las galaxias no están espolvoreadas al azar por el espacio, si no que aparecen concentradas en grupos conectados entre sí por una multitud de filamentos, como si se tratara de una telaraña cósmica.

A primera vista esta observación choca con lo que imaginamos acerca del universo primitivo; un universo muy homogéneo, a juzgar por la distribución casi uniforme de la temperatura detectada en la radiación de fondo de microondas. A medida que el universo ha ido madurando, la materia se ha condensado formando una intrincada estructura filamentosa que alberga las galaxias y sus estrellas. Lo verdaderamente interesante es que la mayor parte de esta telaraña está formada por una materia que desconocemos; el 73% es energía de naturaleza desconocida (o energía oscura), el 23% es materia desconocida (o materia oscura), y el resto, apenas un 4%, está formado por la materia ordinaria que todos conocemos[2].

Resulta sorprendente constatar que los cosmólogos de tiempos remotos —desde los egipcios hasta los mayas, desde los nómadas africanos hasta los navegantes de la polinesia— también recurrieran a la imagen de la *telaraña* para explicar el origen y la evolución del cosmos[3]. La araña crea un universo geométrico a partir de sí misma —extrayendo fibras de seda de su abdomen— y teje estructuras que nos asombran por su simetría y perfección. La araña es diosa de la fertilidad y tejedora del destino, en el que quedan entrelazados los hombres.

Los agricultores chinos, más pragmáticos, siguen fabricando cada otoño las casitas de paja para que hibernen las arañas y asegurarse, así, la cosecha del próximo año.

10.- NOTAS

Capítulo 1

1.- Traducción de *Las mil y una noches*. Vicente Blasco Ibáñez (c. 1916). Omega Internacional (Miami), 2003.

2.- Gabriel del Corral (1629).
La cintra de Aranjuez.
CSIC (Madrid) 1945.

3.- Wilhide E.
The Millenium Dome.
Harper Collins (UK) 1999.

4.- Sebastián de Orozco (1570-1579).
Libro de los proverbios glosados.
Reichenberger (Kassel) 1994.

Capítulo 2

1.- Lin L.H., Sobek W.
Structural hierarchy in spider webs and spider web-type systems
The Structural Engineer (1998), **76**, 59-64.

2.- Elices M., Pérez-Rigueiro J., Plaza G., Guinea G.V.
Recovery in spider silk fibers
J. Applied Polymer Science (2004) **92**, 3537-3541.

3.- Lin L.H., Edmonds, D.T., Vollrath F.
Structural engineering of an orb-spider web
Nature (1995) **373**, 146-148.

4.- Alam M.S., Wahab, M.A., Jenkins C.H.
Mechanics in naturally compliant structures
Mechanics of Materials (2007) **39**, 145-160.

5.- Garrido P.A., Elices M., Viney C., Pérez Rigueiro J.
Active control of spider silk strength: comparison of drag line spun on vertical and horizontal surfaces
Polymer (2002) **43**, 1537-1540.

6.- Denny M.
The physical properties of spider's silk and their role in the design of orb-webs
J. Exp. Biol. (1976), **65**, 483-506.

7.- Lipkin R.
Computer reveals clues to spiderwebs
Science News (1995), **147**, 38.

8.- Wilhide E.
The Millenium Dome.
Harper Collins (UK) 1999.

9.- Masura M., Yokoyama, K. Toribio M.
Wind-induced cable vibration of cable-stayed bridges in Japan
Canada-Japan Workshop on Bridge Aerodynamics, Ottawa, 101-110.

Yoshimura T., Inoue A., Kaji K.K., Savage M.S.
A study on the aerodynamic stability of the Aratsu Bridge
Canada-Japan Workshop on Bridge Aerodynamics, Ottawa, 41-50.

10.- O'Brien J.P., Fahnestock S.R., Termonia Y., Gardner K.H.
Nylons from nature: Synthetic analogs to spider silk
Adv. Mater. (1998) **10**, 1185-1195.

11.- BBC News, 21 de agosto de 2000. *GM goat spins web based future*
El Mundo, 5 de julio de 2002. *El sueño de Spiderman*
National Geographic News, 14 de enero de 2005. *Artificial spider silk could be used for armor*

12.- Lazaris A., Arcidiacono S., Huang Y., Zhou J.F., Duguay F., Chretien N., Welsh E.A., Soares J.W., Karatzas C.N.
Spider silk fibers spun from soluble recombinant silk produced in mammalian cells
Science (2002) **295**, 472-476.

13.- Marsano E., Corsini P., Arosio C., Boschi A., Mormino M., Freddi G.
Wet spinning of Bombix Mori silk fibroin dissolved in N-methyl morpholine N-oxide and properties of regenerated fibers
International Journal of Biological Macromolecules (2005), **37**, 179-188.

14.- Plaza G.R., Corsini P., Pérez-Rigueiro J., Marsano E., Guinea G.V., Elices M.
Effect of water on *Bombyx Mori* regenerated silk fibers and its application to modify their mechanical properties
J. Appl. Polymer Science (2008) **109**, 1793-1801.

Capítulo 3

1.- Shear W., Palmer J., Coddington J.A., Bonazo P.M.
A Devonian spinneret: Early evidence of spiders and silk use
Science (1989) **246**, 479-481.

2.- Selden P.
Orb-web weaving spiders in the early Cretaceous
Nature (1989) **340**, 711-713.

3.- Zschokke S.
Spider-web silk from the Early Cretaceous
Nature (2003) **424**, 636-637.

4.- Peñalver E., Grimaldi D.A., Delclos X.
Early Cretaceous spider web with its prey
Science (2006) **312**, 1761.

5.- Penney D., Ortuño, V.
Oldest trae orb-wearing spider (Araneae: Araneidae)
Biology Letters (2006), (doi: 10.1098/rsbl.2006.0506).

6.- Viney C.
Silk fibers: Origins, nature and consequences of structure
Cáp. 10 in *Structural Biological Materials* (M. Elices Ed.) Elsevier, 2000.

7.- Riekel C., Vollrath F.
Spider silk fibre extrusion: combined Wide- and small-angle X-ray microdiffraction experiments
Int. J. Biol. Macromolecules (2001) **29**, 203-210.

8.- Sirichaisit J., Young R.J., Vollrath F.
Molecular deformation in spider dragline silk subjected to stress
Polymer (2000) **41**, 1223-1227.

9.- Beek J.D. van, Hess S., Vollrath F., Meier B.H.
The molecular structure of spider dragline silk: Holding and orientation of the proteine backbone
PNAS (2002) **99**, 10266-10271.

10.- Pérez-Rigueiro J., Elices M., Plaza G.R., Guinea G.V.
Similarities and differences in the supramolecular organization of silkworm and spider silk
Macromolecules (2007) **40**, 5360-5365.

11.- Guinea G.V., Pérez-Rigueiro J., Plaza G.R., Elices M.
Volume constancy during stretching of spider silk
Biomacromolecules (2006) **7**, 2173-2177.

12.- Garrido M.A., Elices M., Viney C., Pérez-Rigueiro J.
The variability and interdependence of spider drag-line tensile properties
Polymer (2002) **43**, 4495-4502.

13.- Guinea G.V., Elices M., Pérez-Rigueiro J., Plaza G.R.
Stretching of supercontracted fibers: A link between spinning and the variability of spider silk
J. Exp. Biol. (2005) **208**, 25-30.

14.- Elices M., Pérez-Rigueiro J., Plaza G.R., Guinea G.V.
Finding inspiration in Argiope trifasciata spider silk fibers
J. of Materials (2005) **2**, 60-66.

15.- Termonia Y.
Modeling of the stress-strain behaviour of spider dragline
Cáp. 11 in *Structural Biological Materials* (M. Elices Ed.) Elsevier, 2000.

16.- Planas J., Guinea G.V., Elices M.
Constitutive model for fiber-reinforced materials with deformable matrices
Physical Review E (2007) **76**, 041903-1-9.

Capítulo 4

1.- "I shall desire you of more acquaintance, good master cobweb. If I cut my finger I shall make bold with you …" (El sueño de una noche de verano, Acto II, 1).

2.- Hambden C.T.
Joseph H. Shakespeare's son-in-law John Hall, man and physician.
Archon Books, 1964.

3.- Chapman N.
Elements of therapeutics and materia medica.
Vol. 2. HC Carey, I Lea, 1825.

4.- Chapman N., opus cit.

5.- Bennet R.G.
Selection of wound closure materials
J. Am. Acad. Dermatol. (1988) **18**, 619-637.

6.- Altman G.H., Díaz F., Jakuba C., Calabro T., Horan R., Chen J., Lu H., Richmond J., Kaplan D.L.
Silk based biomaterials
Biomaterials (2003) **24**, 401-416.

7.- Yang Y., Chen X., Shao Z., Zhou P., Porter D., Knight D., Vollrath F.
Toughness of spider silk at high and low temperaturas
Adv. Mater. (2005) **17**, 84-88.

8.- Altman G.H., Horan R.L., Lu H.H., Moreau J., Martin I., Richmond J.C., Kaplan D.L.
Silk matrix for tissue engineered anterior cruciate ligaments
Biomaterials (2002) **23**, 4131-4141.

Fan H., Liu H., Wang E.J., Toh S.L., Goh J.C.
In vivo study of anterior cruciata ligament regeneration using mesenchymal stem cells and silk scaffold
Biomaterials (2008) doi: 10.10.16.

9.- Meinel L., Fajardo R., Hofmann S., Langer R., Chen J., Snyder B., Vunjak G., Kaplan D.L.
Silk impants for the healing of critical size bone defects
Bone (2005) **37**, 688-698.

10.- Gellynck K., Verdonk P., Almqvist F., van Nimmen E., De Bakker D., van Langenhove L., Mertens J., Verbruggen G., Kiekens P.
A spider silk supportive matriz used for cartilague regeneration
In *Medical Textiles* (Anand et al. Eds.) CRC (2006), 350-359.

11.- Uebersax L., Mattotti M., Papaloizos M., Merkle H.P., Gander B., Meinel L.
Silk fibroin matrices for controlled release of nerve growth factor
Biomaterials (2007) **28**, 4449-4460.

12.- Wong C., Patwardhan S.V., Belton D.J., Kitchel B., Anastasiades D., Huang J., Naik R.R., Perry C.C., Kaplan D.L.
Novel nanocomposites from spider-silica fusion (chimeric) proteins
PNAS (2006) **103**, 9428-9433.

13.- Huang J., Wong C., George A., Kaplan D.L.
The effect of genetically engineered spider silk-dentin matrix protein 1 chimeric protein on hydroxiapatite nucleation
Biomaterials (2006) doi: 10.1016/2006.11.021

14.- Haeger K.
The Illustrated History of Surgery
New York, Bell (1988), 9.

15.- McQueen D.J.
Interactions between the Pompilio wasp *Anoplius relativus* and the burrowing wolf spider *Geolycosa domifex*
Can. J. Zool. (1979) **57**, 542-550.

16.- Rehnberg B.G.
Selection of spider prey by *Trypoxylon politum*
Can. Entomol. (1987) **119**, 189-194.

17.- Jackson R.R., Blest A.D.
The biology of *Portia fimbrata*: utilization of webs and predatory versatility
J. Zool. Lond (1982) **196**, 255-293.

18.- Hermanson K.D., Huemmerich D., Scheibel T., Bausch R.
Engineered microcapsules fabricated from reconstituted spider silk
Advanced Materials (2007) **19**, 1810-1815.

19.- Noever D.A., Cronise R.J., Relwani R.A.
NASA Tech. Briefs. Marshall Space Flight Center.
Abril 1995, p. 82.

Capítulo 5

1.- Dams L.R.
Bees and honey-hunting scenes in the Mesolithic rock art of Eastern Spain
Bee Wld (1978) **59**, 45-53.

2.- Porcar J.B., Obermaier H. , Breuil H.
Excavaciones en la Curva Remigia (Castellón)
Junta Superior del Tesoro Artístico. Memoria **136** (Madrid) 1935.

3.- Porcar J.B.
Iconografía rupestre de Gasulla
Boletín Soc. Castellonense de Cultura (1949) **25**, 169-182.

4.- Ripoll E.
Pinturas rupestres de la Gasulla (Castellón)
Monografías de arte rupestre (1963) **2**, 1-60.

5.- Johnson B.
Lady of the Beasts: The Goddess and her sacred animals
Inner Traditions. Rochester (Vermont) 1994.

6.- Melic A.
De los jeroglíficos a los tebeos: Los artrópodos en la cultura
Bol. S.E.A. (2003) **32,** 325-357.

7.- Aveni A.F. (Ed.)
The lines of Nazca
American Philosophical Society, **183**, 1990

8.- Kaufman A., Selser C.
The navajo weaving tradition 1650 to the present
Dutton, (New Cork) 1985.

9.- Schmidt K.
Carved creatures from the dawn of agricultura: Göbekli Tepe, Turkey
En *Discovery!* (B.M. Fagan Ed.), Thames & Hudson (2007) p. 180.

La extrema antigüedad de estos monumentos megalíticos no es aceptada por todos sus colegas.

10.- Curry A.
Seeking the roots of ritual
Science (2008) **319**, 278-280.

11. Schmidt K.
Sie Bauten die ersten Tempel
Deutscher Taschenbuch Verlag (München) 2008.

En este libro, Klaus Schmidt hace varias referencias a bajorrelieves que representan arañas (pag. 187-189, 225):
… en la columna 21 se muestran dos veces motivos de arañas.
… en la columna 33 se muestran dibujos de plantas y animales, y en la parte inferior arañas y serpientes.

El autor también compara lo encontrado en Göbekli Tepe con motivos de cerámica neolítica del 6800-6000 aC en el norte de Siria (Tell Sabi Abyad) y comenta que un sello de Tell Sabi Abyad se puede interpretar como una repetición estilizada de los motivos de araña de Göbekli Tepe.

(Agradezco al Dr. Javier Segurado la ayuda prestada en la traducción de algunos pasajes del citado libro).

12.- Bourgeoise L.
Ode à ma Mère
París 1995. (Carpeta que contiene el texto y nueve grabados).

Capítulo 6

1.- Bryce Echenique A.
Los grandes hombres son así. Y también asá
Plaza & Janes Ed., S.A. (1990)

Parece ser que el autor tenía aracnofobia y, como suele ocurrir con los escritores, dejó traslucir sus sentimientos a través del personaje de la novela.

2.- Cheers G. (Ed.)
Mitología
RBA Libros S.A. (2005)

3.- Esopo (Trad. P. Bardenas de la Peña y J. López Fácal)
Fábulas
Biblioteca Gredos (2006) pág. 153.

4.- Iriarte, Tomás de (Angel L. Prieto de Paula Ed.)
Fábulas literarias (1782)
Cátedra (1992)

Capítulo 7

Derecho

1.- Anacarsis. Filósofo. Hijo de Gnuro, rey de Escitia. Nació de madre griega, por cuya razón supo ambos idiomas. Escribió sobre las leyes de los escitas y sobre la frugalidad de la vida de los griegos.

2.- Plutarco (50-120 dC) en Vidas Paralelas; Solon.

3.- Sebastián de Horozco (1570-1579).
Libro de los proverbios glosados.
Rechenberger (Kassel) 1994.

4.- Gabriel del Corral (1629).
La Cintra de Aranjuez.
CSIC (Madrid) 1945.

5.- Pérez Durá F.J. (Coordinador)
Juan Luís Vives: Antología de textos
Cap. 4: Obra jurídica. Publicaciones Universidad de Valencia, 1992.

6.- Ismael Roca, Introducción. La Obra Jurídica en Antología de textos de Juan Luís Vives (obra citada).

Economia

1.- Agradezco a Guillem López Casasnovas el haberme proporcionado una pista para el modelo de la telaraña.

N. Kaldor
A classificatory note on the determination of equilibrium
Review of Economic Studies (1934) **1**, 122-136.

Una discusión detallada de este modelo y referencias adicionales pueden verse en:

Goldberg S.
Introduction to difference equations with illustrative examples from economics, psychology and sociology
J. Wiley (1958). Dover (1986), pág. 181.

Capítulo 8

1.- Agradezco al Rvdo. Rafael M. Oleo, sus valiosos comentarios y el haberme proporcionado las referencias citadas, obtenidas de *Concordantiae Bibliorum Sacrorum Emendatae*, Francisco Luca. Nicolaum Pezzana (Venecia) 1754.

2.- (Job 8: 14).
Non ei placebit recordia sua
et sicut tela *aranearum* fiducia ejes

3.- (Isaías 8: 14).
Ova aspidum ruperunt
et telas *araneae* texuerunt …

4.- Conviene hacer notar que el vocablo *araneam* puede tener otros significados y que se ha traducido también por polilla. Otra versión dice,
… "y desahaces como polilla lo más estimado de él".
"Et tabescere meciste sicut *araneam* animam eius".

5.- (Oseas 8: 6).
"Quia ex Israel et ipse est: Artifex fecit illum et nom est Deus: quoniam in *aranearum* telas erit vitulos Samarie".

6.- Agradezco a Adel Fathy el haberme proporcionado el texto de la referencia

مَثَلُ ٱلَّذِينَ ٱتَّخَذُوا۟ مِن دُونِ ٱللَّهِ أَوْلِيَآءَ
كَمَثَلِ ٱلْعَنكَبُوتِ ٱتَّخَذَتْ بَيْتًا ۖ وَإِنَّ
أَوْهَنَ ٱلْبُيُوتِ لَبَيْتُ ٱلْعَنكَبُوتِ ۖ لَوْ كَانُوا۟
يَعْلَمُونَ ﴿٤١﴾

El Corán
Edición bilingüe comentada. Tomo IV, p. 1584.
DIDACO S.A., Barcelona (2004).

7.- Aquí se considera que la *u* y la *v* son intercambiables.

8.- Santa Teresa de Jesús. (Edición Víctor García de la Concha)
Libro de las fundaciones.
Colección Austral. Espasa Calpe (Madrid) 1991, cap. 8, 102..

Capítulo 9

1.- Bond J.R., Kofman L., Pogosyan D. *Nature* (1996) **380**, 603. Ver, también, una sección especial de la revista *Science* dedicada a la *telaraña cósmica* en *Science* (2008) **319**, 46-57.

2.- *Science*, 19 Diciembre (2003) p. 2038.

3.- En la cosmología egipcia, la araña —símbolo de la diosa Neith— es un mito creador, como madre de Ra y madre de todos los dioses. En la mitología griega aparece Aracné, la doncella lidia que es convertida en araña por la celosa Atenea, una de las diosas más poderosas y que algunos autores, desde Herodoto a Robert Graves, opinan que es la versión griega de Neith. El dios Hefestos intentó violar a Atenea, que lo rechazó. Hefestos, en su intento, eyaculó sobre el muslo de la diosa quien, asqueada, limpió el semen con un trozo de lana y lo tiró al suelo. Del trozo de lana nació Erectonio, futuro rey de Atenas. Atenea no creó a los dioses, pero sí a un rey ateniense y, por lo tanto, Atenea es en realidad la *araña* (según A. Melic, De Madre Araña a demonio Escorpión: Los arácnidos en la Mitología, *Rev. Ibérica de Aracnología* (2002) **5**, 112-124) y no Aracné, quién sólo padeció una transformación como castigo.

Un mito muy popular en Africa central y occidental es el de Anansi, una araña creadora del sol, la luna y las estrellas. En las islas del Pacífico la araña Aerop-Enap también es la divinidad creadora, al principio sólo existía ella y los mares y después acabó creando los Cielos y la Tierra.

En la tradición Maya, la diosa del parto Ix-Chel se representa con una placenta en forma de telaraña de cuyo centro surge el cordón umbilical, o hilo, que une al hombre con el resto del universo y, también, en las culturas nativas de Norteamérica encontramos a la Madre Araña creadora de la Tierra.

CONTESTACION

del

DOCTOR PEDRO GARCIA BARRENO

Doctoras académicas, Doctores académicos, Señoras y Señores.

La segunda mitad del la centuria pasada fue testigo de un mestizaje productivo entre la química y la ciencia de materiales; ello en campos tan variados como polímeros, catálisis, ciencia de interfaces, cerámica o materiales electrónicos. También la sociedad se aprovechó de los espectaculares resultados, notables en las tecnologías de la información y comunicación, conseguidos por la fusión de la física de la materia condensada y la ciencia de materiales. Por el contrario, las interacciones entre esta disciplina y la biología fueron relativamente débiles. Para ser justos, los materiales han hecho contribuciones importantes a la medicina, pero la ciencia de materiales no prestó a la biología la misma atención que a la química y a la física. Manuel Elices Calafat fue uno de los pioneros del cambio apetecido, y hoy, su incorporación viene a llenar dos ingenierías no representadas en nuestra Academia: Ingeniería de Materiales e Ingeniería Civil.

Cumplo con el deber que impone la costumbre, y que antigua y buena amistad me obliga a la vez, contestado al discurso del nuevo Académico. Paso, pues, a satisfacer la honra que se me dispensa.

Acabamos de escuchar un discurso riguroso, instructivo y ameno. Esta solemnidad —manifestaba el Prof. Carlos Sánchez del Río en su discurso de contestación al de ingreso de nuestro recipiendario en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, y yo me apropio de sus palabras en este acto— [esta solemnidad] tiene un doble carácter. El nuevo académico debe leer un discurso de contenido científico para ilustrarnos sobre las novedades de la disciplina que cultiva. Pero también es un acto social que reúne distinguidas personalidades con intereses diferentes, y es principal obligación de todos no aburrir a los asistentes más de lo justo. Elices ha cumplido con creces el doble objetivo aspirado.

Por la naturaleza de nuestra Institución, el tema sería deseable que fuera multidisciplinar y en la medida de lo posible, que ilustrara todas las secciones de la Real Academia. La elección, aunque no baladí, tampoco resultó arcana. El doctor Elices Calafat, a lo largo de su vida profesional, ha investigado todo tipo de materiales: materiales para la industria electrónica, aceros, hormigones […] y, en la última década, ha dedicado especial interés a los materiales biológicos; entre ellos, los hilos de seda del *Bombix mori* y de las arañas.

En su libro «La tela de araña» Joseph Roth escribe: «La relevancia que con el tiempo llegó a alcanzar nunca acabó de creer en ella. Bien puede decirse que el muchacho superó con creces las expectativas que jamás hubiese depositado en sí mismo».

Cojo la «"Enciclopèdia de Menorca", tom cinquè / Vetebrats / volum 2: Peixos, anfibis i rèptils. Apèndix II, Noticia biográfica: MANUEL ELICES CALAFAT». El coautor de los dos tomos que forman este volumen nació en Maó, en el año 1938; estudió en el Instituto Ramis i Ramis, el primer instituto que abrió en su ciudad natal y el segundo de Baleares. Licenciado en Ingeniería de caminos canales y puertos por la Universidad Politécnica de Madrid y en Ciencias físicas por la Universidad Complutense. Elices era un estudiante singular, diferente, apreció Sánchez del Río. Un ingeniero que quería saber más física; un joven muy por encima de la media, llamado a contribuir de modo importante a la ingeniería y a la ciencia españolas. No se equivocó D. Carlos, porque la carrera de nuestro nuevo académico ha sido excepcional gracias a la inteligencia, el tesón y la honradez de este menorquín que hoy recibimos con alborozo.

En el año 1970 obtuvo la Cátedra de Física y Ciencia de materiales de la Universidad Politécnica de Madrid. Ha sido miembro del Consejo Científico del extinto Ministerio de Ciencia y Tecnología, del Consejo Científico de la Fundación Española para la Ciencia y del Consejo Científico de la Comunidad de Madrid. Es miembro del Institut Menorquí d'Estudis.

Su actividad profesional y de investigación ha estado ligada a la ciencia e ingeniería de materiales. Ha presidido grupos internacionales de trabajo y ha sido profesor visitante de numerosas Universidades europeas, de los EE UU e hispanoamericanas. Su vasta producción científica, toda ella de excelencia, está recogida en publicaciones —artículos, libros y monografías— de máximo impacto internacional.

Durante los años noventa impulsó una nueva carrera universitaria de grado superior: Ingeniería de Materiales, que puso en marcha en la Politécnica de Madrid, Universidad de la que fue Vicerrector y que le concedería su Medalla de Oro y Premio a la Investigación. Luego, a petición de la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación, se encargó de elaborar un nuevo plan de estudios para las universidades españolas.

Entre toda su fervorosa actividad merece destacarse, sin que ello vaya en detrimento de otras, su especialización en «fisuracion y fractura de materiales». En los años primeros de la década de los ochenta impulsó la rama «Seguridad Estructural» con la introducción de la Mecánica de la Fractura y la creación del Grupo Español de Seguridad Estructural, siendo miembro del Consejo Internacional de Fractura, y nombrado *Honorary Fellow* por su Consejo europeo. Cofundador de la asociación internacional de Mecánica de la Fractura del Hormigón y editor asociado de las cinco revistas internacionales dedicadas a este campo.

Durante la primera etapa de su vida profesional trabajó en física del estado sólido y en las propiedades electrónicas de los materiales. Luego se concentraría en materiales de la ingeniería civil: hormigón y acero. Más tarde, su interés recae sobre materiales biológicos: seda de la araña, fibras musculares, vasos sanguíneos e implantes protésicos. El libro *Structural Biological Materials. Design and structure-property relationship* es buena muestra de esta etapa. En relación con el comportamiento paradójico de los vasos tuve la ocasión de colaborar con su grupo con el fin de explicar porqué el recalentamiento del paciente tras una intervención de *bypass* coronario provoca, en ocasiones, el reinfarto del miocardio que se pretendió subsanar. Determinados vasos, dependiendo del material que forma su pared, se contraen con el calor provocando una isquemia del territorio irrigado.

Algo hay en Elices que remeda a quien da nombre al Instituto de su juventud. Don Joan Ramis i Ramis, ilustrado de la Menorca británicoespañola. Manuel Elices es aficionado a la fotografía submarina, que practica desde hace cuarenta años. Y su interés por la arqueología le ha llevado a participar en diversas excavaciones y a pertenecer al patronato del Museo Arqueológico de Madrid. La Comunidad Autònoma de les Illes Balears le distinguió con el Premio y Medalla Ramon Llul, y la ciudad de Maò con su medalla de Oro. También ha recibido el Premio Fundació Rubió i Tudurí (mecenas de las artes, farmacéutico y empresario), y el Ateneo de su ciudad natal le nombró Socio de Mérito. En 1993, el diario insular *Menorca* le declaró Protagonista de la Vida Menorquina.

Pero hay más. Por un lado premios, como la Medalla *Guy Bengough* de la *Metals Society*, el Du Pont o el Nacional de Investigación científica y técnica Leonardo Torres Quevedo. También, Doctor *Honoris causa* por varias universidades, y Académico de número de la Real Academia de

Ingeniería de España y de la Academia Europea, en la Sección de Ciencia de materiales. A modo de colofón, Manuel Elices es el único español que es miembro de la Academia de Ingeniería de los EE UU. Pero Elices no encaja en el patrón tradicional, encerrado y obsesivo. Como decía uno de nuestros viejos maestros: «Estudian todo el día, no tienen tiempo de comprender». La sabiduría de Manuel Elices se ha ido tejiendo mediante aproximaciones científicas, filosóficas o artísticas en la búsqueda de su particular identidad.

A partir de la obra alambicada por Elices y otros exploradores —exploradores en sentido amplio, de vastos horizontes—, cada vez con frecuencia creciente emergen nuevos materiales o estrategias procedimentales a partir del estudio directo de sistemas biológicos. «En los últimos tiempos ha resurgido el interés por los diseños que nos ofrece la naturaleza y ello se debe a las facilidades de cálculo y a la riqueza de formas a nuestro alcance. La potencia de los ordenadores junto con un mejor conocimiento del comportamiento de los materiales permite abordar el cálculo y la construcción de estructuras con las formas complejas y caprichosas que nos revela el mundo orgánico y, por otra parte, los avances en todos los campos de la biología nos muestran interesantes formas estructurales que merecen ser exploradas […] Un universo fascinante de formas que estimula la imaginación de arquitectos e ingenieros». *Los gozos y las formas. Reflexiones sobre la estética de las formas estructurales* fue el tema elegido por Manuel Elices para elaborar su Discurso inaugural del año 2004-2005 en la Real Academia de Ciencias.

Insistiendo en lo dicho ya en otras ocasiones no es mi papel continuar con la alabanza —merecida sin duda— ; sí decir algo que se me alcance referente al tema del discurso del nuevo compañero. Tarea en esta ocasión ardua por la amplitud de la disertación que acabamos de escuchar.

Los materiales biológicos han evolucionado hasta alcanzar las extraordinarias propiedades que presentan tras superar con éxito una historia de cuatro mil millones de años de investigación y desarrollo por la Naturaleza, que ha conseguido materiales *duraderos* y *multifuncionales*, cuyas características superan con creces a cualquiera de los materiales manufacturados. Pero las lecciones de la Naturaleza con acaban ahí. Los materiales biológicos se *biosintetizan* —se producen a partir de recursos renovables—, en condiciones de *procesamiento benigno* —en medio acuoso y a temperatura ambiente—, se *autoensamblan*, *autoorganizan* y *autorreproducen* y son *biodegradables* y, por tanto, *reciclables*. Son, por todo ello, fuente inagotable de inspiración, y su ambiente multidisciplinar.

Los investigadores ingenierizan bacterias u otros organismos para obligarles a producir monómeros con los que fabricar polímeros. Sintetizan y expresan genes semiartificiales para biosintetizar materiales proteinaceos con propiedades mecánicas que intentan remedar seda o colágeno, o tratan de obtener materiales que contienen fibras elásticas. Otros comienzan a utilizar fosfolípidos como moldes para materiales electrónicos; o sintetizan vesículas fosfolipídicas que, como las proteínas, responden a diferentes señales; o inducen catálisis estereoselectiva para obtener polímeros ópticamente activos a partir de mezclas racémicas; e incluso desarrollan sensores de base proteica o lipídica.

Desde el punto de vista industrial es sorprendente que la araña utilice agua como solvente de algo que terminará siendo insoluble en agua. Comparen lo que hace la araña en relación con el proceso de fabricación del Kevlar al que se refirió nuestro recipiendario. La fabricación del Kevlar requiere química orgánica compleja, altas presiones y ácido sulfúrico caliente. Pero a los fabricantes les gustaría utilizar el método que emplea la araña para fabricar sus productos. Algo que permitiera diseñar un sistema, utilizando cambios conformacionales como base de los cambios de solubilidad, que permitiera utilizar solventes blandos como el agua.

El estudio de como la araña hace su hilo, puede proporcionar a la industria artimañas que pudieran aplicar a materiales similares. La araña puede producir hilo en un rango de temperaturas superior a los 30º C; contados procesos industriales puede hacer esto. La araña también produce hilo a velocidades diferentes. La velocidad a la que fabrica una red es, aproximadamente, diez veces más lenta que la velocidad a la que hila cuando fabrica un amarre de seguridad para lanzarse al vacío huyendo de un depredador. También muy pocos procesos industriales aceptan variaciones de un factor de diez y siguen siendo eficaces. El secreto de esta flexibilidad puede ser tan simple como pequeñas imperfecciones en la estructura del hilo. Discretas distorsiones en la alineación de los nanocristales en las cadenas proteicas puede que no perturben significativamente las propiedades físicas del hilo; ello permite una ejecución más descuidada en aras de un ahorro de tiempo. Imperfección y cristal.

«La tecnología de la microelectrónica se basa en una deliberada y meticulosa introducción controlada de imperfecciones en cristales casi perfectos», podemos leer en el discurso de recepción de Elices en la Real Academia de Ciencias. Y también «La fractura y las propiedades plásticas

de los sólidos no son consecuencia del valor medio del comportamiento de los átomos, sino del comportamiento excepcional de unos pocos átomos situados en imperfecciones de la red cristalina […] La comunidad científica comenzó a darse cuenta, alrededor de los años sesenta, del potencial de los biomateriales compuestos y todavía tardó más en convencerse de que para aumentar la tenacidad de un material compuesto no siempre era mejor aumentar la adherencia entre sus componentes. La obtención de una adhesión relativamente imperfecta entre las fibras y la matriz resultaba mucho mejor, en general. Los primeros materiales compuestos que se fabricaron alcanzaron pronto mala fama de que eran demasiado frágiles; ello se debía a que la adherencia entre los componentes era demasiado buena. La aplicación de estas ideas le ha proporcionado bastante flexibilidad al ingeniero de materiales a la hora de diseñar; puede elegir un material frágil pero de gran resistencia a la tracción, ligero y resistente a altas temperaturas, y fabricar fibras con él y arroparlas con una matriz apropiada. Por este procedimiento transforma un material frágil en otro tenaz». Tal es el truco de la araña; y algo parecido sucede con el proceso de biomineralización que hace de nuestros huesos un material encomiable. Por su parte, las imperfecciones atrapadas en la historia de la estructura, la integración del ruido de fondo, pueden ser las responsables de un nuevo cambio.

Charles Darwin, a bordo del Beagle, a más de cien kilómetros de la costa suramericana pudo ver arañas *viajando en globo*. Muchas especies de arañas, cuando la población aumenta o la comida escasea, se preparan para emigrar, situándose en lugares despejados, sobre hojas o ramas, y soltando al viento un filamento de seda. Estudios sobre la flexibilidad de este cabo que las arañas arrojan hacia la brisa ha mostrado cómo puede contornearse y girar con la turbulencia, afectando sus propiedades aerodinámicas y llevando a su tripulante hacia distancias impredecibles. Y la eficiencia energética del movimiento de las arañas que viven, se alimentan, se reproducen y se mueven de forma invertida, cabeza abajo, se basa en los mismos principios físicos que hacen funcionar un reloj antiguo: el movimiento de un péndulo bajo la influencia de la gravedad.

«Por todo ello, los materiales biológicos pueden ser una fuente de inspiración para el diseño de nuevos materiales, porque a través de millones de años han aprendido a luchar contra el tiempo y a defenderse de las agresiones externas. Los materiales que se diseñen en el futuro no tienen porqué seguir siendo mudos, ciegos o sordos, ni permanecer pasivos frente a los ataques del exterior. Los nuevos materiales —de forma parecida a los

seres vivos, nos dice Elices en *Tiempo y envejecimiento de los materiales*— deberían ser capaces de sentir, interpretar el significado de las sensaciones y obrar en consecuencia. Los materiales del futuro podrán sentir la angustia por el envejecimiento progresivo y el dolor por la agresiones, intentarán reparar los daños y gritarán para pedir ayuda cuando no puedan valerse por sí mismos».

«Sin seguir ningún plan preestablecido he tratado —escribe Rita Levi-Montalcini en *Elogio de la imperfección*— de reconciliar dos aspiraciones que, según el gran poeta Yeats, serían irreconciliables: "perfección de la vida, o del trabajo". De este modo, y confirmando su vaticinio, he realizado lo que podría definirse como "imperfección de la vida y del trabajo". El hecho de que la actividad que he desarrollado de un modo tan imperfecto haya sido y siga siendo todavía para mí una fuente inagotable de placer, me induce a pensar que la imperfección en el cumplimiento de la tarea que nos hemos fijado o que nos ha sido asignada quizá sea más acorde con la naturaleza humana, imperfecta como es, que la perfección». A lo que puede adicionarse la sentencia de Theodor Dobshanski: «Como producto de la evolución, el hombre dista mucho de ser perfecto; le falta el acabado biológico que resulta de un lento y largo perfeccionamiento a través de la selección natural». Pero algo se ha conseguido, la capacidad interminable para cuestionarse.

De los cristales solo diré que, en un momento dado, el vidrio no desempeñó solamente unas determinadas funciones prácticas sino que suscitó otras de carácter artístico que trascendía los límites del adorno y el mobiliario, y diferentes piezas de vidrio introdujeron un nuevo sentido en la decoración como los espejos y las lámparas que jugaron un papel fundamental en la escenografía palaciega. Durante el siglo xviii se fueron imponiendo esas célebres «arañas» que tenían desde cuatro a dieciséis brazos, al igual que candeleros de dos luces y candeleros de sobremesa como obras acordes con el nuevo *buen gusto*. En noviembre de 1764, Sáenz de Zenzano, entonces director de la Real Fábrica de Cristales de La Granja, decía en una carta haber enviado una araña de cristal de dieciséis brazos de buen gusto. Tampoco desmerece la araña que, crisalizada en aquella misma factoría, cuelga de la cúpula de la Catedral de Baeza.

De no tan buen gusto es el repertorio de temas mitológicos que Velázquez parece escoger entre momentos particularmente bajos, nada heroicos ni adoctrinantes en la fábula de los dioses antiguos: la vil acción de Mercurio matando a Argos, la indecente confidencia de Apolo a Vulcano

sobre la infidelidad de Venus, un Marte de innoble corpachón sentado al borde de un miserable camastro, un Baco confundido entre borrachos rufianescos y la rencorosa venganza de Minerva sobre la joven Aracne.

«*Las hilanderas*, frente al mundo inverosímil, ficticio de tanta pintura barroca o clasicista, desarrolla pensábase—, escribe don Luís Díez del Corral— una escena de taller, con sus máquinas, su materia prima vulgar y sus desperdicios. Cierto es que en el fondo del cuadro se abría una deliciosa escena donde la luz juega con los trajes fosforescentes de unas damas cortesanas y con un tapiz de míticas figuras, pero se trataba —en opinión del intérprete realista Carl Justi— de una escena que sirve para realzar la que ocupa todo el primer término, donde el pintor ha concentrado su atención, haciendo gala de sus habilidades para retratar las obreras y sus útiles de cardar, devanar e hilar la lana». Las formas, sin embargo, presentan una extraordinaria nobleza. La joven devanadora no es una vulgar obrera, sino Aracne. En cuanto a la otra, entrada en años, que hace girar la rueca, puede igualmente de presumir de prosapia antigua y representa nada menos que a Palas Atenea, inventora de dicho instrumento, disfrazada por más tiempo que el admitido en la fábula. Igual que el resto de las figuras femeninas junto al tapiz quienes, con toda seguridad, no son damas cortesanas de Madrid sino las mujeres que de toda la tierra de Lidia venían por ver la labor que tejía Aracne, según se dice en la traducción de las *Metamorfosis* que seguramente utilizó Velázquez, llevada a cabo por Jorge de Bustamente, que, con sesgo similar al del pintor y facilitándole la tarea, había trivializando la categoría de *nymphae* que a las visitantes atribuía Ovidio. El disfraz realista velazqueño no ha privado de su encanto estético a la fábula. Como dice Charles de Tolnay: «la mitología no es para Velázquez un mundo trascendente, heroico, sino que es algo inmanente a la realidad cotidiana», o como apunta don José Antonio Maravall: «el tema "sublime" que se desarrolla en el cuadro queda en una confusa y secundara referencia de fondo». *Las hilanderas* nos revela el secreto de la nueva versión de la fábula. Siempre ha resultado misteriosa la presencia de un instrumento que parece un contrabajo o, mejor, su predecesor, una viola de gamba, sirviendo de *repoussoir* entre la parte luminosa del cuadro y la primera en penumbra. Angulo Íñiguez ha sostenido la tesis, aceptada en el catálogo del Museo, de que se trata, en efecto, de un instrumento musical, cuya presencia en el lienzo está justificada por el efecto benéfico que, según la creencia popular, tenían ritmos y bailes desenfrenados sobre las venenosas picaduras de las tarántulas. Poco después, María Luisa Caturla se opuso a tal parecer, llamado la atención sobre los retoques de que ha sido

objeto el cuadro para dar carácter musical a un instrumento que fue concebido originalmente como devanadera.

Aunque los humanos han convivido desde sus orígenes con las arañas, la noción que los arácnidos pueden causar lesiones necróticas de la piel es moderna. Hace menos de un siglo, L. F. Schmaus estableció la conexión entre picaduras de araña y úlceras cutáneas en un caso bien documentado de picadura de *Laxoceles reclusa* —arañas violín, arácnido de largas patas, color pardo y seis ojos dispuestos en tres diadas— y cuyo tratamiento incluye remedios tan dispares como oxígeno hiperbárico, choque eléctrico local o una sulfonamida con desagradables efectos colaterales. Sin embargo, aunque el loxoscelismo local dermonecrótico apenas es octogenario, Aristóteles, en su *Investigación sobre los animales*, escribió: «Existen numerosas variedades de arañas y tarántulas […] Todas variedades de tarántulas que ofrecen los vendedores de drogas medicinales, no muerden o su mordisco es ligero. Existe otra variedad, la de tarántulas lobos». Dioscórides nos avisa que «Llámanse todas holcos, porque atiran a sí las moscas, lo cual quiere significar el vocablo, y lobos porque las sorben la sangre». Y Plinio el Viejo, en su *Historia Natural*, denomina falangios a las arañas cuya mordedura es venenosa. Los síntomas que, según se creía, derivaban de los mordiscos de esa araña peluda, de apenas tres centímetros de longitud, eran de lo más variopintos; insomnio, llantos, convulsiones, alucinaciones, alteraciones de la percepción del color, estados melancólicos, etc. Manifestaciones aracnidistas patológicas que podrán acabar en un fatal desenlace. Incluso el conocido *baile de San Vito*, una afección nerviosa, se atribuyó a la picadura de la tarántula.

La tarantela es un baile popular del sur de Italia, de origen napolitano, que tiene un movimiento muy vivo. En su forma moderna más común, es una danza de galanteo entre parejas con una música en un compás de seis por ocho que va aumentando progresivamente de velocidad y que va acompañada de castañuelas y de panderetas. Tiene dos partes bien diferenciadas: una en tono menor y otra mayor. Durante la Edad media, en algunas partes del sur de Italia se creía que bailar el solo de la tarantela curaba un tipo de locura supuestamente producida por la picadura de la mayor araña europea, la araña lobo o tarántula.

Un autor español, anónimo, escribió, a finales del siglo XVII, un *Compendio de Medicina*. Incluye un *Tratado particular, de las vidas de los doze Principes de la Medicina*. «Apolo —comenta— es el assumpto deste tratado […] Con la Medicina curava los achaques del cuerpo, y con la cytara los del

alma […] Lo que últimamente su prueba con la historia de la ciudad de Taranto, del Reyno de Napoles, à donde entre las mieses se cria una suerte de lagartija, que dizen, *tarànt*ulas, las cuales picando causan a modo de veneno diferentes efectos, según la complexión de cada uno […] pero todos, en oyendo algún instrumento músico, comienzan a dançar; […] y si con el bayle sudan el veneno, quedan buenos». Y, un siglo después —1785—, el médico español Francisco Javier Cid escribió dos obras sobre terapéutica musical: *Filosofía de la música* y *Tarantismo observado en España* y *Memorias para escribir la historia del insecto llamado tarántula, efectos de su veneno en el cuerpo humano y curación por la música.* Afirma que la música es el mejor remedio, puesto que tiene la propiedad de curar las enfermedades nerviosas, y enumera 35 casos de enfermos mordidos por tarántulas y su tratamiento musical. En dos láminas plegables reproduce ocho tocatas contra el tarantismo, con instrumentos como el violín, la flauta y la guitarra. La Junta Gubernamental de Medicina, en 1875, llego a reconocer los poderes curativos de la tarantela y animaba a los músicos para que la hicieran sonar.

Y cuatro cuerdas de seda son el componente esencial del *wang weiping* o *pipa lute* china, un instrumento musical ancestral. Y el cuarteto «cuerdas de seda» —*Silk String quartet*— es un grupo chino especializado en música tradicional y contemporánea sínica. Los *Cleveland spiders* poseen, desde el año 1899, el título de peor equipo de las grandes ligas de *baseball*, y los *San Francisco spiders* consiguieron el último puesto en la única temporada que jugaron en la liga internacional de hockey sobre hielo. Sin embargo, Vladimir Peter *spider* Sabich consiguió cinco copas el mundo en esquí alpino. Y la tradición asegura que la perseverancia de la arañan motivó a Bruce, Roberto I de Escocia, en la consecución de la independencia de su reino.

Y reino fue Nazca, del que nos habló Elices en su alocución al referirse a las líneas de Nazca, en particular a la araña. Consideradas por la UNESCO como Patrimonio Cultural de la Humanidad, se cree que fueron construidas como un gran calendario astronómico por aquellos precolombinos quienes alcanzaron un grado de perfección insuperable en la manufacturación de cerámicas y de tejidos. Entre el año 300 a. C. y el 500 de nuestra era, estas artes llegaron a su apogeo en Moche, en Paracas o en Nazca. Hasta once colores que armonizan se pueden hallar en la pintura de un vaso; uso de colorantes que precedió a la manufactura textil. Adelgazaban lo hilos de algodón hasta los mayores extremos, y en sus telares primitivos lograban

una trama apretadísima. Tan compenetrada estuvo la civilización peruana con el arte del hilado y los tejidos que su manera de escribir la confió a los *quipus*, nos hace saber Germán Arciniegas. De una angosta faja tejida salían cuerdas que en sus distintos colores significarían los hechos salientes de la historia, observaciones astronómicas, etc., señalándose con nudos —quipus— las fechas. La distancia a que se hacía un nudo indicaba el tiempo. La necrópolis de Paracas está situada en un desierto arenoso donde nunca llueve. En ella, muertos ilustres, sepultados a varios metros de profundidad y vestidos con mantos finísimos, muestran que compitieron con la cultura egipcia por su técnica de momificación, y que fue pionera en el arte quirúrgico de la trepanación. Por su parte, el sitio arqueológico de Sipán —situado en la también desértica Pampa grande, en el interior, al norte de Lima— consta de dos pirámides truncas, edificaciones preincas de la cultura Moche o Mochica de hace 1800 años, en donde se hallaron juntas las Tumbas del Señor de Sipán, la Tumba del Sacerdote y la del Viejo Señor. En esta última se encontró un impresionante collar de oro formado por diez eslabones.

Trabajaron el oro puro o ligado a otros metales —la aleación se llamaba *tumbaga*—. Idolillos o *tunjos* de tumbaga se sometían a un baño de oro puro, usando como mordiente el jugo de ciertas plantas. Se trabajaba el oro a martillo —con martillos de piedra—, fundido —haciendo el vaciado a cera perdida— o reduciéndolos a láminas e hilos que soldaban con toda perfección. Cada uno de los eslabones de oro puro del collar del Viejo Señor es una araña antropomorfizada cuya confección demandó de más de cien puntos de soldadura por pieza.

El Diccionario de la Lengua española, el DRAE, define *soldar*: «pegar y unir sólidamente dos cosas […]»; y *amistad*: «[…] afinidad, conexión entre cosas». Polonio, lord chambelán, en *Hamlet*, los *tumbaga*: «Aquellos amigos con los que te unas tras un atento examen, átalos a tu alma con vínculos de acero».

Sólo resta el apartarme para que el recipiendario reciba de la Presidencia la Medalla que le corresponde. Señor Elices, Amigo, la Corporación le recibe gustosísima en su seno.

Paz y Bien.

Pedro García Barreno