

TRABAJO FIN DE GRADO

BIOLOGÍA

**Biomímesis: Innovaciones inspiradas por la naturaleza
en el Parque Natural de Redes**



Beatriz Sánchez Lueje

**Departamento de Biología de Organismos y Sistemas
Universidad de Oviedo**

Julio/2024



**UNIVERSIDAD DE OVIEDO
FACULTAD DE BIOLOGÍA**



RESUMEN

La biomímesis es una disciplina que se inspira en estrategias biológicas, presentes en la naturaleza, para intentar resolver problemas humanos. El objetivo de este trabajo es poner en valor la biodiversidad y dar a conocer el potencial biomimético del Parque Natural de Redes. Para ello, se designaron tres rutas biomiméticas en el entorno de Redes y se muestrearon en otoño, invierno y primavera. De los listados de especies generados, se eligieron las más interesantes desde el punto de vista de la biomímesis para desarrollar una pequeña guía que pueda ser utilizada en actividades de divulgación, como las llevadas a cabo en el Laboratorio Biomimético.

Palabras clave: biomímesis, biología, divulgación, plantas, innovación, diseño.

ABSTRACT

Biomimicry is a discipline that takes inspiration from biological strategies to solve human problems. This work emphasizes both the value of the biodiversity and the biomimetic potential of Redes Natural Park. To that end, three biomimetic trails were chosen and sampled in the autumn, winter and spring. From the species list generated, noteworthy biomimetic examples were used to develop a small guide for science communication activities, such as those carried out at Laboratorio Biomimético.

Keywords: biomimicry, biology, science communication, plants, innovation, design.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO

(de acuerdo con lo establecido en el artículo 8.3 del Acuerdo de 5 de marzo de 2020, del Consejo de Gobierno de la Universidad de Oviedo, por el que se aprueba el Reglamento sobre la asignatura Trabajo Fin de Grado de la Universidad de Oviedo).

D.^a Beatriz Sánchez Lueje, con DNI 34293331D

DECLARO QUE:

El Trabajo Fin de Grado titulado *Biomímesis: Innovaciones inspiradas por la naturaleza en el Parque Natural de Redes*, que presento para su exposición y defensa, es original y he citado debidamente todas las fuentes de información utilizadas, tanto en el cuerpo del texto como en la bibliografía.

En Sama de Langreo, a 02 de Julio de 2024

Firmado: Beatriz Sánchez Lueje

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
MATERIAL Y MÉTODOS.....	2
ÁREA DE ESTUDIO: PARQUE NATURAL Y RESERVA DE LA BIOSFERA DE REDES.....	2
ÁREA DE TRABAJO: LABORATORIO BIOMIMÉTICO.....	4
ELECCIÓN DE LAS ZONAS MUESTREADAS.	5
MUESTREO.....	7
RESULTADOS.....	11
DISCUSIÓN.....	17
CONCLUSIÓN.....	20
BIBLIOGRAFÍA.....	21

INTRODUCCIÓN

La biomímesis es una disciplina que se inspira en estrategias biológicas, presentes en la naturaleza, para intentar resolver problemas humanos (Benyus, 1997). El término fue introducido por Janine Benyus en su libro *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature* (1997), donde defiende que “después de 3,8 miles de millones de años de investigación y desarrollo, los fracasos son fósiles, y lo que nos rodea es el secreto para la supervivencia”.

Según Benyus (1997), nuestras necesidades básicas son las mismas que las del resto de seres vivos: necesitamos alimento, agua, espacio suficiente para vivir, y refugio. En el proceso para conseguir esto, muchos seres vivos han logrado también aprovechar la energía solar, generar materiales, producir luz o sobrevivir en condiciones extremas (Benyus, 1997). Y, a diferencia de los humanos, hacen todas estas cosas sin perjudicar excesivamente el planeta (Benyus, 1997).

Las estrategias utilizadas por estos seres vivos, que se han mantenido a lo largo de millones de años de evolución, son, como mínimo, interesantes. No solo podrían ayudar a solucionar ciertos problemas humanos, sino que podrían ser la base de una nueva relación con el medioambiente, en la que aprendemos de la naturaleza para producir a su manera, de forma más sostenible.

En la biomímesis hay dos modelos principales: el *biology push*, impulsado por la biología, y el *technology pull*, impulsado por la tecnología (Bae & Lee, 2019; Speck & Speck, 2023).

El *biology push* se basa en la investigación biológica de las estructuras y funciones de los organismos, de manera que, a partir de estos conocimientos, se produce la innovación tecnológica (Bae & Lee, 2019; Speck & Speck, 2023). Es un proceso *bottom-up* (de abajo a arriba), o de innovación guiada por la solución (Bae & Lee, 2019; Speck & Speck, 2023). Un ejemplo de biomímesis con el enfoque *biology push* es la creación del velcro, inspirada en las semillas de un cardo, *Arctium minus*, conocido normalmente como bardana (Bae & Lee, 2019; Speck & Speck, 2023). Las semillas de la bardana presentan unas estructuras en forma de garfios, que se adhieren al pelaje de los mamíferos con facilidad, permitiendo la dispersión (DeFranco, 2021; Speck & Speck, 2023). Cuando se dio cuenta de esto, el ingeniero Georges de Mestral inventó el velcro: un sistema de adhesión formado por una banda con pequeños garfios, similares a los de la bardana, y otra banda

con estructuras en forma de bucle, que imitaban el pelaje de los mamíferos (DeFranco, 2021; Speck & Speck, 2023).

El *technology pull* se basa en la búsqueda de estrategias biológicas concretas que puedan servir para solucionar un problema tecnológico existente (Bae & Lee, 2019; Speck & Speck, 2023). Es un proceso *top-down* (de arriba a abajo), o de innovación guiada por el problema (Bae & Lee, 2019; Speck & Speck, 2023). Un ejemplo de biomimesis con el enfoque *technology pull* es el tren bala japonés Shinkansen, inspirado en el pico del martín pescador (Bae & Lee, 2019). El problema, en este caso, era que el tren comprimía grandes masas de aire al circular por los túneles, lo que, además de ralentizarlo, producía un sonido muy fuerte al salir de ellos que molestaba a los habitantes de la zona (Stier, 2020). Para solucionarlo, se inspiraron en el pico del martín pescador (*Alcedo atthis*), que apenas comprime el agua cuando se sumerge, evitando así alertar a los peces (Stier, 2020). Esto es posible gracias a la estructura cónica y alargada del pico, con un diámetro muy pequeño en la punta que va aumentando poco a poco (Stier, 2020). Cuando penetra en el agua, en lugar de comprimirla, permite que se deslice alrededor del pico (Stier, 2020). El ingeniero Eiji Nakatsu decidió rediseñar el tren bala para imitar el pico del martín pescador, buscando que el aire se desplazara alrededor del tren en lugar de comprimirse (Stier, 2020). De esta manera, se consiguió aumentar la velocidad del tren en los túneles y disminuir el sonido que provocaba al salir de ellos (Stier, 2020).

El Laboratorio Biomimético, situado en el Parque Natural y Reserva de la Biosfera de Redes, es uno de los pocos centros en Asturias dedicados a la innovación desde la biomimesis. El objetivo de este trabajo es poner en valor la biodiversidad y dar a conocer el potencial biomimético del Parque Natural de Redes. Para ello, se realizó un listado de las plantas vasculares presentes en tres rutas de la zona y, con las especies más interesantes desde el punto de vista de la biomimesis, se redactó el texto para una pequeña guía divulgativa que puede ser utilizada en actividades de divulgación del Laboratorio Biomimético.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio: Parque Natural y Reserva de la Biosfera de Redes

Para comprender las adaptaciones de las plantas de la zona, es necesario conocer las características de la región en sí. Según la clasificación de la Unión Europea, Asturias

se encuentra en la región atlántica (Comisión Europea, 2010). Más concretamente, Asturias se sitúa en la región Eurosiberiana, superprovincia Iberoatlántica, y se distinguen dos provincias: la Cantabroatlántica (con más influencia oceánica) y la Orocantábrica (con más influencia continental) (Red Ambiental de Asturias, 2024). En general, sin embargo, ambas presentan un clima templado oceánico (Rivas-Martínez *et al.*, 2011), con inviernos suaves, veranos frescos, y lluvia moderada (Comisión Europea, 2010).

Redes se localiza en la ladera norte de la Cordillera Cantábrica, en el curso alto del río Nalón, y comprende los concejos de Caso y Sobrescobio (figura 1). Presenta amplias masas de bosque, donde dominan las hayas (*Fagus sylvatica* L.) y los robles autóctonos de la zona (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl., *Quercus pyrenaica* Willd., y *Quercus robur* L.) (UNESCO, 2024).

El buen estado de conservación de estos bosques, junto con su riqueza faunística, su orografía abrupta y su importante cuenca fluvial, llevaron a su declaración como Parque Natural en 1996 (BOE, ley 8/1996). Otro factor decisivo fue su situación económica en declive, ya que el estatus de Parque Natural no incluye solo la conservación de los ecosistemas de la zona, sino también la implantación de medidas de dinamización y desarrollo económico (BOE, ley 8/1996).

Redes es, además, un Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) de la Red Natura 2000 (Unión Europea, 2024/448). Esto se debe a que presenta numerosos hábitats considerados como de interés comunitario en el Anexo I de la Directiva Hábitats (Diario Oficial de las Comunidades Europeas, Directiva 92/43/CEE). Además de los bosques ya mencionados, como hayedos acidófilos y bosques de *Quercus*, destacan los bosques aluviales con alisos (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) y fresnos (*Fraxinus excelsior* L.), bosques de ladera (mixtos caducifolios) y bosques de acebo (*Ilex aquifolium* L.) (NATURA 2000 - STANDARD DATA FORM, 2024). Por otro lado, presenta turberas, manantiales petrificantes, y pendientes rocosas calcáreas y silíceas. También cuenta con diversos tipos de brezales y pastizales, así como lagos eutróficos naturales (NATURA 2000 - STANDARD DATA FORM, 2024).

A nivel de especie, también presenta numerosas especies de interés comunitario (recogidas en el Anexo II de la Directiva Hábitats), en su mayoría aves (NATURA 2000 - STANDARD DATA FORM, 2024). Por ese motivo, se considera también una Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA), contempladas tanto en la Red Natura 2000 como en la Directiva Aves (2009/147/CE) (Red Regional de Espacios Naturales Protegidos, 2024).

Por otro lado, Redes fue declarado Reserva de la Biosfera por la UNESCO en 2001, un estatus asignado a zonas “representativas de su región biogeográfica y significativas en términos de biodiversidad”, en las que debe compaginarse la conservación con un desarrollo socioeconómico sostenible, y el apoyo a proyectos de investigación y educación con estos objetivos (UNESCO, 2022).



Figura 1: Vista del Parque Natural de Redes desde el pueblo de Ladines.

Área de trabajo: Laboratorio Biomimético.

El Laboratorio Biomimético (<https://laboratoriobiomimetico.com/>) es una empresa situada en el Parque Natural de Redes, que busca promover la biomímesis para conseguir soluciones de diseño sostenibles. Su metodología se basa en la observación de la naturaleza, la inspiración en estrategias biológicas y la integración de estos conocimientos en el diseño y el prototipado (Laboratorio Biomimético, 2024). Laboratorio Biomimético también lleva a cabo numerosas actividades de divulgación, como los paseos biomiméticos. Se trata de excursiones por el entorno natural de Redes en las que se enseña a los participantes a observar la naturaleza desde una perspectiva biomimética, identificando adaptaciones al medio y su aplicación al diseño. La actividad se basa en la observación guiada de la naturaleza y pequeños ejercicios prácticos para anotar las características interesantes y sus posibles aplicaciones.

Como parte de este trabajo, se desarrollará una pequeña guía que el Laboratorio Biomimético pueda utilizar en este tipo de actividades. La guía será de carácter divulgativo, con algunos datos biológicos generales pero centrada principalmente en la biomímesis. Para ello, se incluirán plantas interesantes desde el punto de vista biomimético debido a sus adaptaciones al entorno, y que puedan observarse más o menos fácilmente a lo largo de algunos paseos en Redes.

Elección de las zonas muestreadas.

Las zonas elegidas deberían contar con algún tipo de camino, para facilitar el paseo. Además, deberían elegirse varias zonas con ambientes ligeramente distintos, que permitieran observar diferentes adaptaciones. Teniendo esto en cuenta, se decidió que sería interesante realizar un recorrido entre prados o pastizales, uno junto a un río, y uno en una zona de bosque, y se eligieron tres itinerarios con estas características.

El primer recorrido, el camino entre los pastizales, mostrado en la figura 2, está en el pueblo de Ladines. A lo largo del camino, que está sin asfaltar, se observan principalmente plantas herbáceas, además de algunos arbustos y árboles. El paseo termina en un prado conocido como “Naal”, donde los ganaderos de la zona llevan a veces a pastar al ganado. Por ese motivo, me referiré a esta ruta como “Camino al prado del Naal”.



Figura 2: Camino al prado del Naal, cerca del pueblo de Ladines.

El segundo recorrido es un camino junto al río Nalón en Rioseco, elegido por presentar algunas especies típicas de los bosques de ribera de gran interés para la biomímesis: *Acer pseudoplatanus* L. y *Alnus glutinosa*. Como se observa en la figura 3, hacia un lado limita con pequeños prados particulares, mientras que al otro lado se encuentra la ribera del río. Se registraron tanto las especies que limitaban con los prados como la parte de la ribera del río que puede observarse desde el paseo, con el objetivo de identificar todas las especies que podrían resultar interesantes al recorrerlo. Cabe destacar que esta ruta es la única de las tres que es totalmente accesible, puesto que el camino es llano y está en buenas condiciones, por lo que se trata de una actividad adecuada para personas con movilidad reducida.

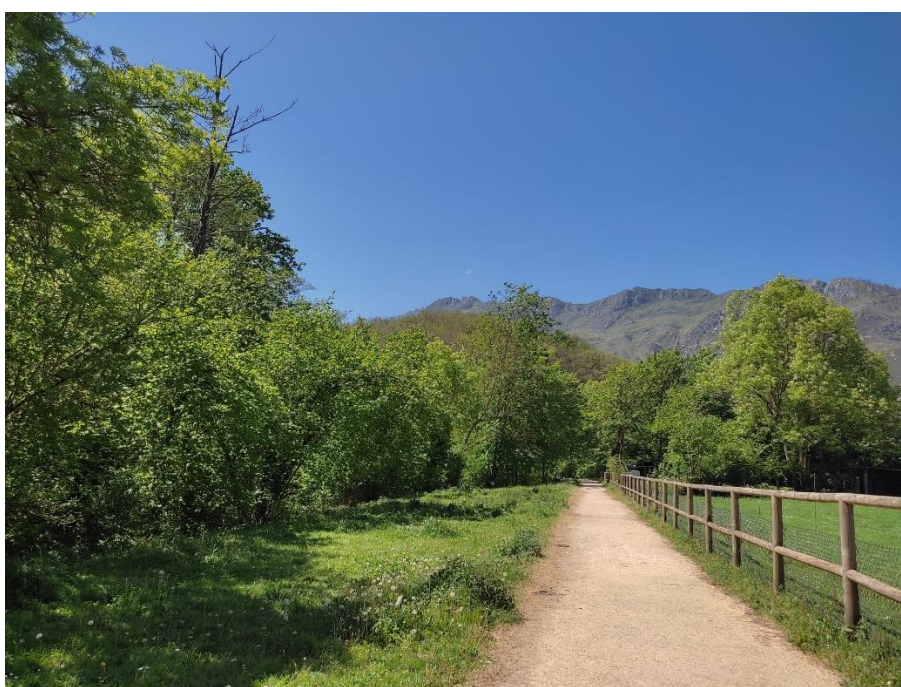


Figura 3: Camino junto a la ribera del río Nalón, en Rioseco.

El tercer recorrido, en Ladines, se conoce como “la ruta del Molín el Ponticu”, y es un camino a través del bosque, mostrado en la figura 4. El comienzo de la ruta está rodeado de zarzas, pero, una vez en el interior del bosque, el camino se hace más amplio hasta llegar al molino que da nombre a la ruta. Sin embargo, se decidió continuar el muestreo después del molino, cruzando un pequeño arroyo, para alargar el paseo hasta llegar a una zona más arbolada y densa.



Figura 4: Ruta por el bosque del Molín del Ponticu, cerca de Ladines.

Muestreo

Los muestreos se centraron en las plantas vasculares, al ser las que se querían incluir en la guía, y se realizaron siguiendo los caminos en los que se realizarían los futuros “paseos biomiméticos”, representados en las figuras 5, 6 y 7.



Figura 5: Ruta seguida para muestrear el camino al prado del Naal.

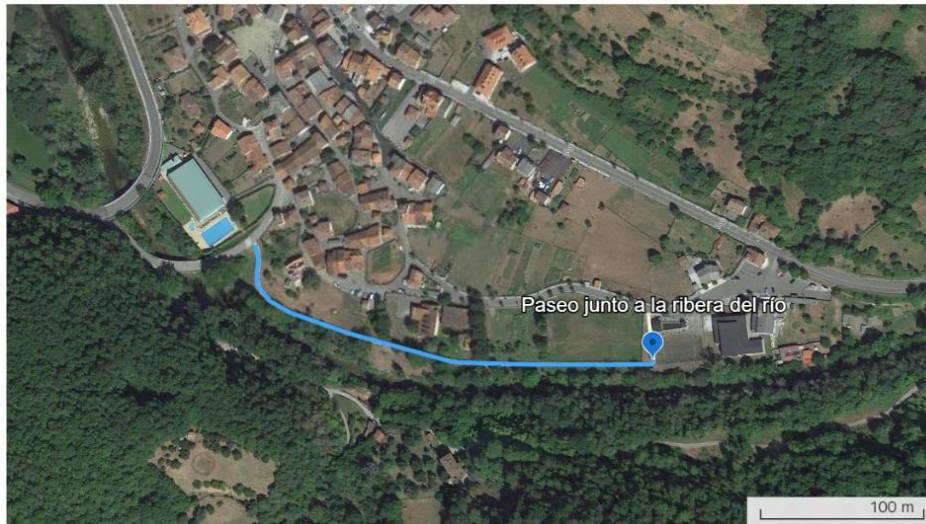


Figura 6: Ruta seguida para muestrear el camino junto a la ribera del río Nalón.



Figura 7: Ruta seguida para muestrear el paseo del bosque del Molín del Ponticu.

Se llevaron a cabo tres muestreos para cada recorrido, uno en otoño, otro en invierno y otro en primavera, para confeccionar un listado de las especies presentes en cada zona. Las fechas concretas de los muestreos son las que figuran en la tabla 1.

RECORRIDO/ESTACIÓN	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA
1. Camino al prado del Naal	18-11-2023	3-2-2024	20-4-2024
2. Paseo junto a la ribera del río	19-11-2023	4-2-2024	21-4-2024
3. Bosque del Molín del Ponticu	26-11-2023	17-2-2024	8-5-2024

Tabla 1: Fechas en las que se llevaron a cabo los muestreos de los distintos itinerarios.

Material empleado

Al tratarse de un espacio protegido en el que no está permitido recoger muestras sin autorización (BOE, ley 8/1996), la identificación se llevó a cabo *in situ*. Para ello, se utilizaron el Catálogo de las plantas vasculares del Principado de Asturias, la Clave Ilustrada de la Flora del País Vasco y la Flora Ibérica. También se utilizó como referencia el catálogo de plantas vasculares de Redes incluido en el Informe Decenal de la Reserva de la Biosfera de Redes, llevado a cabo en 2022 por el Consejo Científico del Comité Español del Programa M&B de la UNESCO. Por otro lado, se utilizaron aplicaciones de identificación de especies, tomándose fotografías con un smartphone. La ventaja de utilizar un smartphone es que las imágenes quedan almacenadas en el mismo dispositivo que se utilizará para la identificación. Sin embargo, también es posible tomar las imágenes con una cámara profesional y posteriormente importarlas al smartphone.

Las aplicaciones utilizadas para la identificación fueron Pl@ntNet (<https://plantnet.org/en/>) y iNaturalist (<https://www.inaturalist.org/>). Ambas cuentan con sistemas de identificación basados en inteligencia artificial, y la probabilidad de que la planta correcta sea una de las tres primeras sugerencias es del 95% y el 93%, respectivamente (Hart *et al.*, 2023). Diferenciar la sugerencia correcta resulta relativamente sencillo la mayoría de las veces, ya que, en el caso de iNaturalist, vienen acompañadas de imágenes y un breve texto explicativo acerca de la planta, lo que facilita su identificación. Además, los porcentajes anteriores se refieren a la probabilidad de acierto en la identificación a partir de una sola imagen (Hart *et al.*, 2023), mientras que, en mi caso, se proporcionaron varias imágenes de distintos caracteres de la planta para cada

observación, lo que aumenta la probabilidad de que la identificación sea correcta (López-Guillén *et al.*, 2024).

Para evitar errores de identificación, se cuidó que las imágenes estuvieran bien enfocadas, no borrosas, y sin demasiado contraste y exposición (López-Guillén *et al.*, 2024). Aun así, estos sistemas tienen sus limitaciones, y la identificación no es fiable en plantas marchitas y árboles sin hojas (López-Guillén *et al.*, 2024).

La elección de Pl@ntNet como sistema de identificación se debe a su porcentaje de acierto ligeramente más alto (Hart *et al.*, 2023). Sin embargo, iNaturalist, además de ser también relativamente eficaz en la identificación, cuenta con un mejor sistema de almacenamiento de observaciones, y permite añadir la localización (coordenadas) y la fecha manualmente (López-Guillén *et al.*, 2024), lo que resulta útil en zonas con mala cobertura como es el pueblo de Ladines.

Una vez identificadas las plantas, se añadió para cada especie su período de floración, de acuerdo con la web *FloraVegEU* (<https://floraveg.eu/taxon/>) y *Flora iberica* (www.floraiberica.es). Cuando la floración no figuraba en ninguna de estas bases de datos, se recurrió a *Florandalucia* (<https://www.florandalucia.es/>). A continuación, se llevó a cabo una búsqueda de información que pudiera ser incluida en la guía divulgativa.

Para buscar características generales de la biología de las plantas, se consultaron las páginas web de *Plants of the World Online* (POWO), del jardín botánico de Kew, y la *Lista Roja de Especies Amenazadas* de la IUCN. La web *AskNature*, desarrollada por el *Biomimicry Institute* (Instituto Biomimético de Estados Unidos), también resultó de gran ayuda, al servir de base de datos de estrategias biológicas con enlaces a los artículos científicos originales.

Con el objetivo de encontrar información general de interés, también se consultaron varios libros, como *Árboles y arbustos naturales de Asturias* (Fernández Díaz-Formentí, 2004), *Guía de los bosques de Asturias* (Díaz & Vázquez, 2004), y el *European Atlas of Forest Tree Species* (Comisión Europea, 2016). El carácter divulgativo de algunos de estos libros resultó de gran utilidad para buscar información adecuada para el público general.

Por otro lado, para profundizar en adaptaciones concretas se consultaron artículos científicos a través de los motores de búsqueda académicos más habituales, como *Web of Science*, *Pubmed*, *Google Scholar* y *ReaserchGate*.

También sirvieron como referencia ciertos documentos legales, la mayoría relacionados con la Unión Europea e iniciativas como la Red Natura 2000, y también el Boletín Oficial del Estado (BOE, ley 8/1996).

RESULTADOS

Como resultado de los muestreos, se obtuvo un listado de especies para cada ruta, completado con el período de floración. El listado completo se incluye en el anexo I. En la figura 8, se muestra un fragmento del listado.

ESPECIE	FLORACIÓN
<i>Achillea millefolium</i> L.	Abril-Septiembre
<i>Adenocarpus complicatus</i> (L.) J.Gay	Abril-Agosto
<i>Alopecurus pratensis</i> L.	Marzo-Junio
<i>Anarrhinum bellidifolium</i> (L.) Willd.	Mayo-Septiembre
<i>Angelica sylvestris</i> L.	Mayo-Agosto
<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.	Marzo-Agosto
<i>Aquilegia vulgaris</i> L.	Mayo-Agosto
<i>Asplenium adiantum-nigrum</i> L.	Enero-Diciembre
<i>Asplenium trichomanes</i> L.	Enero-Diciembre
<i>Bellis perennis</i> L.	Enero-Diciembre

Figura 8: Fragmento del listado de especies de plantas vasculares encontradas en la primera de las rutas biomiméticas, el camino al prado del Naal.

De las especies incluidas en el listado, se eligieron para la realización de la guía algunas especies representativas de cada ruta y que resultaban interesantes desde el punto de vista biomimético. El texto completo redactado para la guía se incluye en el anexo II. En la tabla 2, se resumen las especies incluidas en la guía y algunas características que resultan de interés para la biomimesis.

ESPECIE	CARACTERÍSTICAS DE INTERÉS
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Sámaras que se dispersan por el viento, raíces adventicias que mitigan la erosión
<i>Alnus glutinosa</i>	Madera resistente al agua, semillas que se dispersan por el agua, estructura de los amentos para la dispersión, simbiosis con bacteria <i>Frankia alni</i>
<i>Cardamine hirsuta</i>	Mecanismo de lanzamiento de las semillas
<i>Castanea sativa</i>	Fruto protegido por estructura espinosa hasta la maduración
<i>Fagus sylvatica</i>	Disposición de las hojas para captar o evitar luz, elevada densidad estomática en el envés, fruto protegido por cúpula espinosa
<i>Hedera helix</i>	Adhesión al sustrato, partículas que bloquean la luz ultravioleta
<i>Ilex aquifolium</i>	Hojas con espinas punzantes para protegerse de los herbívoros
<i>Quercus petraea</i>	Raíces profundas que permiten sobrevivir en suelos rocosos, corteza rica en taninos que protege de insectos y hongos
<i>Ranunculus</i> spp.	Combinación de color por pigmentos y color estructural
<i>Sempervivum vicentei</i>	Almacenamiento de agua y tolerancia a amplio rango de temperaturas
<i>Taraxacum officinale</i>	Semillas que se dispersan por el viento gracias al vilano

Tabla 2: Especies incluidas en la guía y características que resultan interesantes desde el punto de vista biomimético.

La primera especie elegida fue el haya (*Fagus sylvatica*), por ser el árbol dominante en Redes (UNESCO, 2024) y presentar numerosas adaptaciones interesantes. Las que se comentaron en la guía fueron la disposición de las hojas para captar luz o evitarla en caso de insolación, la elevada densidad estomática en el envés para regular la transpiración, y la protección del fruto por una cúpula espinosa (Fernández Díaz-Formentí, 2004; POWO, 2024).

El roble albar (*Quercus petraea*) también fue elegido por su abundancia en Redes (UNESCO, 2024). Destacan la profundidad de sus raíces, que le permite sobrevivir en

suelos rocosos, y su corteza rica en taninos, que lo hace más resistente al ataque de insectos y hongos (Comisión Europea, 2016).

El plágano (*Acer pseudoplatanus*) fue elegido por su presencia en el bosque de ribera (Comisión Europea, 2016), así como por su potencial biomimético: el mecanismo de dispersión por el viento de las sámaras, y las raíces adventicias que mitigan la erosión (Fernández Díaz-Formentí, 2004; Schaeffer *et al.*, 2024). También se menciona la presencia de lenticelas en sus ramas, permitiendo el paso de aire y agua (Fernández Díaz-Formentí, 2004).

También por ser típico de los bosques de ribera, se incluyó en la guía el aliso (*Alnus glutinosa*) (Fernández Díaz-Formentí, 2004). Resultan interesantes la resistencia de su madera al contacto con el agua (Fernández Díaz-Formentí, 2004), la capacidad de sus semillas para dispersarse por el agua, y la simbiosis con la bacteria *Frankia alni* (que aporta nitrógeno), así como la estructura de los amentos y su función en la dispersión (Comisión Europea, 2016).

El acebo (*Ilex aquifolium*) fue elegido por su interés biomimético (donde destacan principalmente sus hojas con espinas punzantes para protegerse de los herbívoros) (Fernández Díaz-Formentí, 2004; POWO, 2024), pero también por estar catalogado como especie de interés especial (Decreto 65/95) y contar con un plan de manejo (Decreto 147/2001).

Además, se comentaron algunas características del castaño (*Castanea sativa* Mill.), por el papel fundamental que jugó en la Asturias, especialmente en las zonas mineras, a lo largo del siglo XX. Como característica principal, destaca la protección del fruto (castaña) por una estructura espinosa (erizo) hasta su maduración (Fernández Díaz-Formentí, 2004).

Por otro lado, se incluyó la hiedra (*Hedera helix* L.) por su mecanismo de adhesión al sustrato, mediado por las raíces adventicias, que liberan una sustancia adhesiva y presentan pequeños pelos capaces de adaptarse al sustrato por un mecanismo de deshidratación (Melzer *et al.*, 2010). También resulta interesante su producción de nanopartículas que bloquean la radiación ultravioleta (Xia *et al.*, 2010).

El botón de oro (*Ranunculus* L.) destaca por presentar una combinación de color por pigmentos y color estructural, siendo este último muy escaso en las plantas (van der Kooi *et al.*, 2017).

El diente de león (*Taraxacum officinale* Weber ex F.H. Wigg) es un referente en biomimética por la estructura, conocida como vilano, que permite la dispersión por el viento de sus semillas, y cuyo grado de apertura depende de la humedad ambiental (Seale *et al.*, 2022).

Cardamine hirsuta L. es también una especie conocida en biomimesis, ya que cuenta con un mecanismo que impulsa las semillas a gran velocidad, lejos de la planta madre (Hofhuis *et al.*, 2016).

La siempreviva (figura 9), *Sempervivum vicentei* Pau, tiene interés biomimético por su carácter de planta suculenta, que implica adaptaciones para el almacenamiento de agua y tolerancia a un amplio rango de temperaturas (Griffiths & Males, 2017).



Figura 9: La siempreviva (*Sempervivum vicentei*), una de las plantas de interés biomimético que podemos encontrar en el Parque Natural de Redes.

La tabla 3 indica qué especies, de las explicadas en la guía, se encuentran en cada ruta. Además, se incluye un apartado con otras especies que, pese a no estar descritas en detalle como especies de interés biomimético, podrían presentar adaptaciones con cierto potencial, o resultarían interesantes en actividades de divulgación. Se han elegido por distintas características, como la forma de la flor o los pétalos (figura 10), la forma de las hojas (figura 11), la forma del fruto (figura 12), la presencia de pilosidad (figura 13), o simplemente por ser abundantes en la región.



Figura 10: *Centaurea jacea* L. La disposición de su inflorescencia podría resultar interesante desde el punto de vista biomimético.



Figura 11: *Ulex europaeus* L., interesante por sus hojas en forma de espina.



Figura 12: Frutos de *Euonymus europaeus* L. Su estructura podría resultar interesante para la biomímesis.



Figura 13: *Ajuga reptans* L. Podría resultar interesante por su gran pilosidad, además de sus flores.

RUTA	ESPECIES DE INTERÉS BIOMIMÉTICO	OTRAS ESPECIES
Camino al prado del Naal	<i>Cardamine hirsuta</i> , <i>Castanea sativa</i> , <i>Hedera helix</i> , <i>Ilex aquifolium</i> , <i>Quercus petraea</i> , <i>Ranunculus spp.</i> , <i>Sempervivum cantabricum</i> , <i>Taraxacum officinale</i>	<i>Campanula rapunculus</i> , <i>Centaurea jacea</i> , <i>Crepis capillaris</i> , <i>Corylus avellana</i> , <i>Daboecia cantabrica</i> , <i>Hyacinthoides non-scripta</i> , <i>Linaria triornithophora</i> , <i>Mentha suaveolens</i> , <i>Primula acaulis</i> , <i>Viola riviniana</i>
Paseo junto a la ribera del río Nalón, Rioseco	<i>Acer pseudoplatanus</i> , <i>Alnus glutinosa</i> , <i>Cardamine hirsuta</i> , <i>Hedera helix</i> , <i>Ranunculus spp.</i> , <i>Taraxacum officinale</i>	<i>Ajuga reptans</i> , <i>Arum italicum</i> , <i>Cerastium fontanum</i> , <i>Euonymus europaeus</i> , <i>Fraxinus excelsior</i> , <i>Hyacinthoides non-scripta</i> , <i>Mentha suaveolens</i> , <i>Primula acaulis</i> ,
Bosque del Molín del Ponticu	<i>Acer pseudoplatanus</i> , <i>Alnus glutinosa</i> , <i>Cardamine hirsuta</i> , <i>Castanea sativa</i> , <i>Fagus sylvatica</i> , <i>Hedera helix</i> , <i>Ilex aquifolium</i> , <i>Quercus petraea</i> , <i>Ranunculus spp.</i> , <i>Sempervivum cantabricum</i> , <i>Taraxacum officinale</i>	<i>Ajuga reptans</i> , <i>Arum italicum</i> , <i>Corylus avellana</i> , <i>Daboecia cantabrica</i> , <i>Erica vagans</i> , <i>Fraxinus excelsior</i> , <i>Laurus nobilis</i> , <i>Linaria triornithophora</i> , <i>Primula acaulis</i> , <i>Ulex europaeus</i> , <i>Viola riviniana</i>

Tabla 3: Especies de interés encontradas en cada ruta. Se incluyen, por un lado, las especies de interés biomimético explicadas en la guía, y, por otro lado, otras especies que no han sido explicadas en detalle, pero podrían presentar adaptaciones de interés.

DISCUSIÓN

Para divulgar el potencial biomimético de la biodiversidad del Parque Natural de Redes, en este TFG se ha realizado un inventario de especies de tres rutas de la zona. A partir del listado resultante, se ha redactado el texto para una pequeña guía, con el objetivo de que pueda ser utilizada en actividades de divulgación sobre biomímesis y biología. La guía promueve la observación de ciertas características y adaptaciones de las plantas

vasculares, para luego pensar cómo podrían trasladarse estos conocimientos a otras disciplinas.

Puesto que el concepto de la biomímesis fue introducido en 1997 (Benyus, 1997), es todavía un campo relativamente nuevo, y su divulgación lo es aún más. Aunque en los últimos años se han llevado a cabo algunos estudios sobre la enseñanza de la biomímesis (Coban & Costu, 2021; Harlow *et al.*, 2023; Speck & Speck, 2023; Yeter *et al.*, 2023), no tengo conocimiento de ningún estudio que haya realizado el mismo proyecto que este TFG (inventario de especies y guía divulgativa).

Uno de los ejemplos más similares es el del Jardín Botánico de la Universidad de Freiburg, en Alemania, que, al igual que muchos otros jardines botánicos, cuenta con diferentes actividades de divulgación sobre la biomímesis (Speck & Speck, 2023). Destacan las rutas educativas, en las que los participantes recorren un camino a medida que leen carteles informativos sobre biomímesis y observan ejemplos de construcciones inspiradas en la naturaleza (Speck & Speck, 2023). Aun así, se diferencian de este TFG en que no promueven la observación directa del entorno en busca de adaptaciones de interés.

Otros proyectos con un enfoque similar son los talleres de biomímesis que ofrece la consultoría del Instituto Biomimético de Estados Unidos, *Biomimicry 3.8* (<https://biomimicry.net/what-we-do/professional-training/immersion-workshops/>), y, a nivel nacional, los talleres del centro *Biomimicry Granada* (<https://biomimicrygranada.com/biomimicry101eventinformation/>), ya que ambos cuentan con salidas a la naturaleza como base del aprendizaje (Biomimicry 3.8, 2024; Biomimicry Granada, 2024). Sin embargo, estos talleres parecen más centrados en el desarrollo profesional de personas que pretendan dedicarse a la biomímesis o incorporar esta disciplina a su carrera, mientras que la guía desarrollada en este TFG, aunque también puede aplicarse en cursos destinados a profesionales del diseño, está pensada para complementar actividades de divulgación para un público general.

Además, existen talleres destinados específicamente a empresas. Este tipo de actividades están enfocadas en motivar a los empleados para buscar soluciones sostenibles, siendo la biomímesis una herramienta de cambio en su perspectiva (McInerney & Niewiarowski, 2022). Sin embargo, son muy distintos de otro tipo de talleres, ya que tienen un gran componente virtual y no incluyen actividades de observación directa de la naturaleza (McInerney & Niewiarowski, 2022).

Por otro lado, hay varios estudios sobre la integración de la biomímesis en la educación, aunque en la actualidad está ausente en la mayoría de programas educativos (Yeter *et al.*, 2023). Además, cuando sí está integrada, suele ser en educación superior, principalmente en ingeniería (Yeter *et al.*, 2023), y centrándose en la obtención de un diseño final aplicable en este campo (Coban & Costu, 2021). La tendencia de este tipo de actividades es de proporcionar a los estudiantes organismos concretos, seleccionados para ser utilizados como modelos, sin salidas a la naturaleza.

Este enfoque de integración de la biomímesis en la educación presenta varios problemas:

i) En primer lugar, no se favorece la interdisciplinariedad más allá de la ingeniería. En algunos talleres dedicados a profesores, un enfoque más abierto permitió aplicar la biomímesis a la solución de problemas sociales (Harlow *et al.*, 2023). Uno de los resultados del taller fue la inspiración en el reciclaje de las conchas del cangrejo ermitaño para crear un sistema de dinamización de edificios abandonados, que aumente la disponibilidad de viviendas para personas con menos recursos económicos (Harlow *et al.*, 2023). Si se busca aplicar la inspiración en la naturaleza a la solución de problemas humanos, como sugiere la propia definición de biomímesis, limitar la interdisciplinariedad al campo de la ingeniería resulta contraproducente.

ii) En segundo lugar, ignora totalmente el concepto de la biofilia. Definida por E.O Wilson en su libro “Biophilia”, se trata de “una tendencia innata a fijarse en la vida”, en la naturaleza (Wilson, 1986). Estudios posteriores sugieren que la biofilia es especialmente intensa en los niños, y crucial para su desarrollo (Kahn Jr, 1997; Kalvaitis, 2015). De acuerdo con esto, la biomímesis debería introducirse ya en niveles más bajos, y siempre basada en la observación directa de la naturaleza, aprovechando y fomentando la curiosidad innata de los niños por el mundo natural.

iii) Por último, todos estos programas educativos están pensados para ser aplicados en contextos de educación formal, por lo que no llegan a un público tan general como el que se busca en las actividades de divulgación científica.

La divulgación sobre biomímesis cobra especial importancia cuando se atiende a uno de sus principios: la búsqueda de la sostenibilidad (Iouguina *et al.*, 2014). Entre la biomímesis y la sostenibilidad hay una relación superficial, más obvia, inherente a la imitación de la naturaleza, ya que se están tomando como base sistemas biológicos que no perjudican el ambiente ni alteran irreversiblemente el equilibrio de los ecosistemas

(Kennedy *et al.*, 2015). Sin embargo, no todos los diseños inspirados en la naturaleza son sostenibles: todo depende de cómo se traslade la inspiración biológica al diseño, y de cómo se utilicen esas innovaciones después (Kennedy *et al.*, 2015). En un artículo publicado en la revista *Design* del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), se propone un enfoque multinivel en la aplicación de la biomímesis, que llevaría a una innovación más sostenible (Kennedy *et al.*, 2015). El primer nivel sería imitar la forma o características más superficiales del modelo biológico, como se hace en la mayoría de los casos (Kennedy *et al.*, 2015). El segundo nivel sería imitar los procesos biológicos de fabricación: a temperatura ambiente, presión atmosférica habitual, y con sustancias químicas inocuas o que pueden descomponerse en otras menos tóxicas (Kennedy *et al.*, 2015). El tercer nivel sería imitar también la relación del modelo biológico con el ecosistema, basada principalmente en la capacidad de adaptación a las condiciones cambiantes del ambiente, la capacidad de respuesta y la utilización eficiente de recursos.

No siempre se tiene la capacidad de aplicar este enfoque multinivel a todos los diseños, ya que, especialmente a nivel de fabricación y relación con el ambiente, muchas veces no se cuenta con la infraestructura y los métodos necesarios. Y la biomímesis no es un instrumento mágico que vaya a facilitarnos todas las soluciones sostenibles que queremos. Pero avanzar en la aplicación sostenible de la biomímesis y en su divulgación para concienciar a la sociedad, implica avanzar hacia un futuro más responsable con el medio ambiente.

CONCLUSIÓN

La biomímesis nos ofrece una oportunidad para resolver los problemas humanos de forma sostenible, inspirándonos en la naturaleza en múltiples niveles. La biodiversidad del Parque Natural de Redes puede servir de base a numerosas innovaciones biomiméticas, y en este TFG se pone de manifiesto este potencial mediante un listado de las especies presentes en tres rutas y la realización de una guía para complementar actividades de divulgación.

BIBLIOGRAFÍA

- Bae, H., & Lee, E. (2019). Biological and ecological classification of biomimicry from a biology push standpoint. *Ecosphere*, 10(11), e02959.
- Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. HarperCollins.
- Biomimicry 3.8 (2024). *Inmersion Workshops*. <https://biomimicry.net/what-we-do/professional-training/immersion-workshops/>
- Biomimicry Granada (2024). *Biomimicry 101*. <https://biomimicrygranada.com/biomimicry101eventinformation/>
- Coban, M., & Coştu, B. (2023). Integration of biomimicry into science education: Biomimicry teaching approach. *Journal of Biological Education*, 57(1), 145-169.
- Comisión Europea (2010). *Natura 2000 en la región atlántica*. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.
- Comisión Europea (2016). *European Atlas of Forest Tree Species*. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.
- Decisión de ejecución (UE) 2024/448 de la comisión de 2 de febrero de 2024 por la que se adopta la decimoséptima lista actualizada de lugares de importancia comunitaria de la región biogeográfica atlántica [notificada con el número C(2024) 528]. *Diario Oficial de la Unión Europea*, de 19 de febrero de 2024.
- Decreto 65/95, de 27 de abril, por el que se crea el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de la Flora del Principado de Asturias y se dictan normas para su protección. *Boletín Oficial del Principado de Asturias*, de 5 de junio de 1995. <https://sede.asturias.es/bopa/disposiciones/repositorio/LEGISLACION14/66/2/F775E4268CFE40C488D2867C8FE2A899.pdf>
- Decreto 147/2001, de 13 de diciembre, por el que se aprueba el Plan de Manejo del Acebo (*Ilex aquifolium*). *Boletín Oficial del Principado de Asturias*, 14, de 18 de enero de 2002. https://sede.asturias.es/ast/bopa-disposiciones?p_p_id=pa_sede_bopa_web_portlet_SedeBopaDispositionWeb&p_p_lifecycle=0&_pa_sede_bopa_web_portlet_SedeBopaDispositionWeb_mvcRenderCommandName=%2Fdisposition%2Fdetail&p_r_p_dispositionText=2002-

[1118004&p_r_p_dispositionReference=2002-1118004&p_r_p_dispositionDate=18%2F01%2F2002](#)

DeFranco, E. (2021, January 21). *Hooked Spines Grab On to Fibers - Lesser burdock*.

AskNature. <https://asknature.org/strategy/hooked-spines-grab-onto-fibers/>

Díaz T. E., & Vázquez, A. (2004). *Guía de los bosques de Asturias*. Ediciones Trea S.L.

Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 206, de 22 de julio de 1992. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1992-81200>

Fernández Díaz-Formentí, J. M. (2004). *Árboles y arbustos naturales de Asturias*. CajAstur.

Flora iberica (2024). www.floraiberica.es

Florandalucia (2024). *Flora Vascular de Andalucía*. <https://www.florandalucia.es/>

FloraVegEU (2024). *Information about species*. <https://floraveg.eu/taxon/>

Griffiths, H., & Males, J. (2017). Succulent plants. *Current Biology*, 27(17), R890-R896.

Harlow, D., Azzam, D., Bianchini, J., & Lohwasser, K. (2023). Solutions-Focused Sustainable Development Education Through Biomimicry. *Science and Children*, 60(6), 49-53.

Hart, A. G., Bosley, H., Hooper, C., Perry, J., Sellors-Moore, J., Moore, O., & Goodenough, A. E. (2023). Assessing the accuracy of free automated plant identification applications. *People and Nature*, 5(3), 929-937.

Hofhuis, H., Moulton, D., Lessinnes, T., Routier-Kierzkowska, A. L., Bompfrey, R. J., Mosca, G., ... & Hay, A. (2016). Morphomechanical innovation drives explosive seed dispersal. *Cell*, 166(1), 222-233.

Iouguina, A., Dawson, J. W., Hallgrímsson, B., & Smart, G. (2014). Biologically informed disciplines: A comparative analysis of bionics, biomimetics, biomimicry, and bio-inspiration among others. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 9(3), 197-205.

- Kahn Jr, P. H. (1997). Developmental psychology and the biophilia hypothesis: Children's affiliation with nature. *Developmental review*, 17(1), 1-61.
- Kalvaitis, D., & Monhardt, R. (2015). Children voice biophilia: The phenomenology of being in love with nature. *Journal of Sustainability Education*, 9(March), 1-15.
- Kennedy, E., Fecheyr-Lippens, D., Hsiung, B. K., Niewiarowski, P. H., & Kolodziej, M. (2015). Biomimicry: A path to sustainable innovation. *Design Issues*, 31(3), 66-73.
- Laboratorio Biomimético (2024). *Conoce nuestra metodología*.
<https://laboratoribiomimetico.com/>
- Ley 8/1996, de 27 de diciembre, de Declaración del Parque Natural de Redes. *Boletín Oficial del Estado*, 33, de 7 de febrero de 1997.
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-2522>
- López-Guillén, E., Herrera, I., Bensid, B., Gómez-Bellver, C., Ibáñez, N., Jiménez-Mejías, P., ... & López-Pujol, J. (2024). Strengths and challenges of using iNaturalist in plant research with focus on data quality. *Diversity*, 16(1), 42.
- Melzer, B., Steinbrecher, T., Seidel, R., Kraft, O., Schwaiger, R., & Speck, T. (2010). The attachment strategy of English ivy: a complex mechanism acting on several hierarchical levels. *Journal of the Royal Society Interface*, 7(50), 1383-1389.
- McInerney, S. J., & Niewiarowski, P. H. (2022). Biomimicry training to promote employee engagement in sustainability. *Biomimetics*, 7(2), 71.
- NATURA 2000 - STANDARD DATA FORM (2024). *ES1200008 Redes*.
<https://natura2000.eea.europa.eu/Natura2000/SDF.aspx?site=ES1200008>
- POWO - Plants of the World Online (2024). *Fagus sylvatica*.
<https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:305836-2>
- POWO – Plants of the World Online (2024). *Ilex aquifolium*.
<https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:83051-1>
- Red Ambiental de Asturias (2024). *Caracterización biogeográfica de Asturias*.
https://medioambiente.asturias.es/detalle/-/categories/766648?_com_liferay_asset_categories_navigation_web_portlet_AssetCat

[egoriesNavigationPortlet_articleId=785189&articleId=785189&title=Caracterizaci%C3%B3n%20biogeogr%C3%A1fica%20de%20Asturias.](#)

Red Regional de Espacios Naturales Protegidos (2024). *Parque Natural Redes*.

<https://naturalezadeasturias.es/espacios/accede/protegidos/parques-naturales/PN-redes.html>

Rivas-Martínez, S., Rivas Sáenz, S., y Penas A. (2011). Worldwide bioclimatic classification system. *Global Geobotany 1*, 1-634 + 4 maps.

Schaeffer, B. M., Truman, S. S., Truscott, T. T., & Dickerson, A. K. (2024). Maple samara flight is robust to morphological perturbation and united by a classic drag model. *Communications Biology*, 7(1), 248.

Seale, M., Kiss, A., Bovio, S., Viola, I. M., Mastropaolo, E., Boudaoud, A., & Nakayama, N. (2022). Dandelion pappus morphing is actuated by radially patterned material swelling. *Nature communications*, 13(1), 2498.

Speck, O., & Speck, T. (2023). Biomimetics in botanical gardens—Educational trails and guided tours. *Biomimetics*, 8(3), 303.

Stier, S. (2020, November 9). *The Beak That Inspired a Bullet Train – Kingfishers*. AskNature. <https://asknature.org/strategy/beak-provides-streamlining/>

UNESCO (2022). *Directrices técnicas para las reservas de la biosfera*.

UNESCO (2024). *Man and the Biosphere Program (MAB) – Redes*.

<https://www.unesco.org/en/mab/redes?hub=66369>

van der Kooi, C. J., Elzenga, J. T. M., Dijksterhuis, J., & Stavenga, D. G. (2017). Functional optics of glossy buttercup flowers. *Journal of the Royal Society Interface*, 14(127), 20160933.

Wilson, E. O. (1986). *Biophilia*. Harvard university press.

Xia, L., Lenaghan, S. C., Zhang, M., Zhang, Z., & Li, Q. (2010). Naturally occurring nanoparticles from English ivy: an alternative to metal-based nanoparticles for UV protection. *Journal of Nanobiotechnology*, 8, 1-9.

Yeter, I. H., Tan, V. S. Q., & Le Ferrand, H. (2023). Conceptualization of biomimicry in engineering context among undergraduate and high school students: An international interdisciplinary exploration. *Biomimetics*, 8(1), 125.