

Programa de Doctorado en  
**Biología Integrada**

**JORNADAS DOCTORALES 2025**

6 de marzo de 2025



Facultad de  
**Biología**



## **JORNADAS DOCTORALES 2025**

### **Programa de Doctorado en Biología Integrada Universidad de Sevilla**

#### **ÍNDICE**

PROGRAMA .....	2
RESÚMENES .....	6
Línea de investigación: Biología Animal .....	6
Línea de investigación: Biología Vegetal .....	11
Línea de investigación: Biología Molecular y Celular, Microbiología.....	17

**JORNADAS DOCTORALES 2025**  
**Programa de Doctorado en Biología Integrada**  
**Jueves, 6 de marzo de 2025**

**PROGRAMA**

	Línea BIOLOGÍA ANIMAL	Línea BIOLOGÍA VEGETAL	Línea BIOLOGÍA MOLECULAR Y CELULAR, MICROBIOLOGÍA
9:00 – 11:00	<b>Sesión BA.1</b> (Aula B.03)	<b>Sesión BV.1</b> (Salón de Grados)	<b>Sesión BMCM.1</b> (Aula 1.07)
11:00 – 11:40	<b><i>Snack and coffee break</i></b> Conoce a los estudiantes del programa de Doctorado en Biología Integrada y expande tu red de colaboradores (Hall de la Facultad, Edificio Rojo)		
11:40 – 12:40	<b>Academic Publishing Workshop</b> (Salón de Grados)		
12:40 – 14:40	<b>Sesión BA.2</b> (Aula B.03)	<b>Sesión BV.2</b> (Salón de Grados)	<b>Sesión BMCM.2</b> (Aula 1.07)

## LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: BIOLOGÍA ANIMAL

Aula B.03, Edificio Rojo, Facultad de Biología

### SESIÓN BA.1:

09:00 - 09:20 **Ana Irina Martín López:** Ecología de los vectores del virus West Nile en Andalucía, estrategias para reducir el riesgo de transmisión a humanos

09:20 - 09:40 **Adrián Monreal Rodríguez:** Interacciones ecológicas entre larvas de anuros y macrófitos acuáticos

09:40 - 10:00 **Paula Sianes Castillo:** Divergencia genómica, epigenética y fisiológica en la plasticidad en el desarrollo de larvas de sapo

10:00 - 10:20 **Rocío Espada Ruiz:** Avances en el conocimiento de dos especies de misticetos por el Estrecho de Gibraltar

10:20 - 10:40 **Liliana Olaya Ponzone:** Delfines en la Bahía de Algeciras. Ecología, amenazas y conservación

10:40 - 11:00 **Manuel Serrano Jiménez:** Aves acuáticas como biovectores de dispersión de plásticos y sus implicaciones ecotoxicológicas: el rol de la ecología trófica y el movimiento

### SESIÓN BA.2:

12:40 - 13:00 **Iago Ferreiro Arias:** Drivers and spatial patterns of overhunting impacts on the abundance of tropical birds' populations

13:00 - 13:20 **Laia Pérez Sorribes:** Bases genómicas del rescate genético del lince ibérico

13:20 - 13:40 **Loréna Boisseau:** Acoustic Invasion: Evaluating the impact of invasive parakeets on the soundscape of a city and its residents

## LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: BIOLOGÍA VEGETAL

Salón de Grados, Edificio Rojo, Facultad de Biología

### SESIÓN BV.1:

09:00 - 09:20 **Raúl Morón López:** El Diseño de las Invasiones. Rasgos diferenciales de las plantas ornamentales exóticas y su implicación en los primeros estadios de las Invasiones Biológicas

09:20 - 09:40 **Pedro Valle Romero:** Desarrollo de una bioherramienta basada en inoculantes bacterianos para la restauración de hábitats de humedales de interés comunitario

09:40 - 10:00 **Procopio Peinado Torrubia:** Plants maximize chloride uptake during early vegetative development to stimulate cell expansion, maturation of the photosynthetic apparatus and growth

10:00 - 10:20 **Alba Rodríguez Parra:** Impacto de los rasgos funcionales y la disponibilidad de agua en las interacciones competitivas en el complejo autopoliploide *Dianthus broteri*

10:20 - 10:40 **Pilar Pineda Balbuena:** Respuestas ecofisiológicas y de producción de compuestos fenólicos de *Corema album* al estrés por sequía

10:40 - 11:00 **Elena Mateos Martínez:** Evolución de la acumulación de carbono en diferentes especies arbóreas del bosque urbano

### SESIÓN BV.2:

12:40 - 13:00 **Felipe Jesús Parra Perea:** Respuestas ecofisiológicas de la especie invasora *Spartina densiflora* en el estuario del Tinto (Suroeste de la Península Ibérica)

13:00 - 13:20 **Francisco Jesús Moreno Racero:** Análisis integral del impacto del hydrochar en la interacción suelo-planta-microorganismo

13:20 - 13:40 **Rocío Fernández Fuerte:** *Halimium halimifolium* y el ciervo: desentrañando la interacción entre dos especies sobreabundantes en el Parque Nacional de Doñana

13:40 - 14:00 **Elena Romano Rodríguez:** Análisis de la contribución de las bacterias endófitas a los mecanismos de tolerancia de las halófitas frente a la salinidad y el cambio climático

14:00 - 14:20 **Francisco Javier Borrallo Vázquez:** Cómo entrenar a tu fago: Coevolución Digital y Artificial Life

## LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: BIOLOGÍA MOLECULAR Y CELULAR, MICROBIOLOGÍA

Aula 1.07, Edificio Rojo, Facultad de Biología

### SESIÓN BMCM.1:

09:20 - 09:40 **Juan Garrido García:** Biophysics of visual systems: from 2D to 3D

09:40 - 10:00 **Belén Suárez Murillo:** Respuesta a disponibilidad de luz en la cianobacteria *Nostoc sp.* PCC 7120

10:00 - 10:20 **Ana María Cutiño Gobeá:** Understanding the molecular basis of *Sinorhizobium fredii* HH103-soybean compatibility conferred by NopM effector

10:20 - 10:40 **Javier De la Peña Noya:** *Pseudomonas putida* membrane vesicles: a potential biocontrol tool?

10:40 - 11:00 **Elena Bellido Lama:** Quantitative analysis of microglia 3D organization in physiological and pathological conditions

### SESIÓN BMCM.2:

12:40 - 13:00 **Lucía Jiménez Ríos:** Desarrollo de biofertilizantes microbianos como fomento de una agricultura sostenible

13:00 - 13:20 **María del Carmen Sánchez Aguilar:** Papel del diguanilato cíclico en la regulación de diversos procesos celulares en *Sinorhizobium fredii*



## RESÚMENES

### LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: BIOLOGÍA ANIMAL


**1) Ana Irina Martín López:** Ecología de los vectores del virus West Nile en Andalucía, estrategias para reducir el riesgo de transmisión a humanos

Los patógenos transmitidos por vectores juegan un papel muy importante en salud pública y animal y en la ecología y evolución de los organismos. El virus West Nile (WNV) es un flavivirus transmitido por mosquitos entre las aves. Los mosquitos infectados, además, pueden transmitir el virus a humanos y caballos que actúan como hospedadores no competentes. Aunque históricamente los casos de infecciones en humanos han sido muy escasos en España, en el año 2020 se produjo el mayor brote registrado en el país, con un total de 77 casos graves y 8 fallecidos. Esto evidencia que la vigilancia en humanos no es suficiente para un buen seguimiento de la circulación del virus y la detección temprana de brotes. Así, es necesario obtener una mejor comprensión de su ecología y ciclo de transmisión mediante el seguimiento del WNV en las poblaciones de mosquitos vectores y sus reservorios naturales, las aves.

Esta tesis estudiará los vectores del WNV y las aves silvestres, lo que permitirá utilizar una aproximación multidisciplinar basada en el enfoque "OneHealth" y se identificarán los cambios ecológicos que favorecen el salto del WNV a poblaciones humanas. Para ello, la tesis incluirá 4 capítulos principales donde se analizará la contribución de las principales especies de aves en la transmisión del WNV, los factores morfológicos que afectan a la atracción del mosquito hacia el hospedador, los factores ambientales y bióticos asociados a la prevalencia de WNV en mosquitos en Andalucía y se evaluarán los métodos de control de mosquitos.

**2) Adrián Monreal Rodríguez:** Interacciones ecológicas entre larvas de anuros y macrófitos acuáticos

Los renacuajos pueden ejercer importantes funciones en los ecosistemas acuáticos donde habitan, alterando en ciclo de nutrientes, la descomposición de hojarasca o modificando las comunidades de fitoplancton y zooplancton. Un aspecto de su ecología que ha sido relativamente poco estudiado es su interacción con los macrófitos acuáticos. Estos son componentes clave en el funcionamiento de los sistemas dulceacuícolas, porque pueden ser los principales productores primarios, dominando sobre el fitoplancton, y además aumentan la complejidad estructural, creando nuevos hábitats para otras especies. En esta tesis, estudiamos cómo los renacuajos interactúan con los macrófitos acuáticos en las lagunas temporales. Por un lado, mediante un experimento de mesocosmos, evaluamos cómo las larvas de distintas especies afectan a la vegetación, nutrientes disueltos, la fisicoquímica del agua y la comunidad de zooplancton. Por otro lado, queremos explorar el papel que pueden jugar los renacuajos como dispersores de semillas. Para ello, realizamos muestreos periódicos de renacuajos en lagunas temporales del Parque Nacional de Doñana y analizamos sus heces, para averiguar si distintas especies de renacuajo dispersan distintas especies de plantas y ver si estas interacciones varían a lo largo del hidropereodo y en función del tamaño y estado de desarrollo de las



larvas. Además, gracias a una red de colaboradores internacionales, estamos recibiendo muestras de heces de renacuajo de distintas partes del mundo, para comprobar si renacuajos de distintas especies y áreas geográficas también son capaces de dispersar semillas. Por último, tenemos previsto estudiar cómo la ingesta de semillas por las larvas afecta a su germinación.

**3) Paula Sianes Castillo:** Divergencia genómica, epigenética y fisiológica en la plasticidad en el desarrollo de larvas de sapo

Los sapos de espuela poseen la condición ancestral de presentar largos periodos larvarios, aunque pueden acelerar su desarrollo notablemente si perciben riesgo de desecación del medio acuático que habitan. Las especies europeas, adaptadas a una mayor fluctuación ambiental, siguen manteniendo esta plasticidad fenotípica. Por el contrario, las especies americanas se han adaptado a reproducirse en ambientes acuáticos efímeros y han evolucionado a un desarrollo constitutivamente rápido, es decir, han perdido en gran medida la sensibilidad a los niveles de agua en que se desarrollan. Además, las especies europeas presentan un tamaño del genoma sustancialmente mayor al de las especies americanas, si bien el número de genes no es tan distinto entre ellas. Este sistema puede ser reconocido como un ejemplo de acomodación genética y nos proporciona una excelente oportunidad de estudiar los mecanismos que subyacen a estos cambios. Durante mi tesis generaré y compararé datos genómicos, epigenéticos y fisiológicos de 4 especies diferentes de sapos de espuelas, con diferentes grados de plasticidad del periodo de desarrollo, para mejorar nuestra comprensión de cómo evoluciona la plasticidad.


**4) Rocío Espada Ruiz:** Avances en el conocimiento de dos especies de misticetos por el Estrecho de Gibraltar

Se ha realizado una revisión de 400 años de los avistamientos, varamientos y amenazas del rorcual común (*Balaenoptera physalus*) en el mar Mediterráneo con el fin de localizar zonas críticas para estos animales. Además, se están comparando diversos parámetros físico-químicos con el fin de detectar si la migración Atlántica del rorcual común está influenciada por alguno de ellos, determinando también zonas críticas en relación al tráfico marítimo por el Estrecho de Gibraltar. Por otro lado, se revisaron los avistamientos y varamientos de la ballena jorobada (*Megaptera novaeanglie*) en el Mediterráneo, determinando que entran en este mar para alimentarse. Por último se ha creado el catálogo de foto ID de rorcual Común por el Estrecho de Gibraltar observando la fidelidad que presentan las ballenas entre diferentes zonas del Mediterráneo y el Estrecho de Gibraltar.

**5) Liliana Olaya Ponzone:** Delfines en la Bahía de Algeciras. Ecología, amenazas y conservación

La Bahía de Algeciras, al sur de la península ibérica es una zona con alta presión humana donde se observan tres especies de delfines: el delfín común (*Delphinus delphis*), el delfín listado (*Stenella coeruleoalba*) y el delfín mular (*Tursiops truncatus*). Desde 2006, se avista una hembra solitaria de delfín mular junto a delfines comunes. En 2016, se registró el primer híbrido salvaje entre *D. delphis* y *T. truncatus*. Las principales amenazas para los delfines en esta área son las interacciones con embarcaciones. Entre 2013 y 2017, se






monitorearon 5 individuos de *D. delphis* con heridas causadas por estas interacciones y se calculó el periodo de curación de estas. Entre 2017 y 2020, se realizaron 2410 avistamientos en 593 días, recopilando datos de avistamientos, embarcaciones, clima y parámetros físico-químicos. La bahía es un área crítica para los delfines comunes, catalogados como "En peligro" en el Mediterráneo desde 2003. Se analizó el impacto sobre los animales en la zona y se propuso la creación de un microsantuario para protegerlos. Además, se cuantificaron las observaciones de grupos mixtos y se revisaron las presas de los delfines en ambos lados del Atlántico. Se recopilaron datos de comportamiento de los animales antes y después de los avistamientos para inferir el grado de perturbación sobre ellos y se destacó la necesidad de medidas de conservación en la zona. Se está realizando un catálogo de fotoidentificación de *D. delphis* para conocer el número de animales lacerados e inferir el tamaño poblacional.

**6) Manuel Serrano Jiménez:** Aves acuáticas como biovectores de dispersión de plásticos y sus implicaciones ecotoxicológicas: el rol de la ecología trófica y el movimiento

La acumulación de los plásticos en los ecosistemas es un problema global que afecta a vario niveles en el sistema. Hasta la fecha, los ecosistemas marinos han sido los que los más estudiados en lo que se refiere a acumulación y efectos, siendo los ecosistemas dulceacuícolas y estuarios los menos estudiados, aun siendo lugares de alta acumulación de estos materiales y otros contaminantes. Durante el desarrollo de la tesis se busca comprender el papel de las aves acuáticas en la dispersión del plástico y sus implicaciones ecológicas y de salud en estos ecosistemas. Se enfoca en especies asociadas a hábitats humanizados como cigüeñas (*Ciconia ciconia*), gaviotas (*Larus fuscus* y *Larus michahellis*) y garcillas (*Bubulcus ibis*). El proyecto examina cómo estas aves transportan plásticos hacia áreas naturales desde las áreas urbanas y antropizadas donde forrajea, relacionándolo con su ecología trófica y movimientos. También investiga la presencia de tóxicos asociados al plástico en las aves y su impacto fisiológico en los individuos. El estudio utiliza una variedad de técnicas científicas avanzadas que combinan el análisis de los plásticos hallados, análisis toxicológicos de tejidos y bioquímicos y análisis de datos de movimiento entre otros, buscando mejorar la comprensión global de la contaminación por plástico. Esta información es relevante para el diseño de estrategias de monitoreo y mitigación del impacto ambiental del plástico más efectivas, especialmente en relación con el papel de las aves en el transporte de plástico y a cómo les afectan estos plásticos a nuestras especies, de forma directa e indirecta.

**7) Iago Ferreira Arias:** Drivers and spatial patterns of overhunting impacts on the abundance of tropical birds' populations

Wildlife overexploitation, whether for subsistence or the pet trade, poses a significant threat to avian biodiversity in tropical forests. However, accurately assessing the spatial distribution and intensity of hunting pressure on tropical birds remains challenging. In this study, we elucidate the factors driving declines in bird abundance due to hunting while quantifying the scale and spatial dimensions of avian defaunation at pantropical scale. We compiled 2968 abundance estimates across hunted and non-hunted sites spanning 518 tropical bird species and employed a Bayesian modeling approach to relate species abundance response ratios with hunting pressure drivers and species




traits. Our analysis extends to evaluating the spatial manifestation of avian defaunation across tropical forests and delineating its occurrence across different biogeographic realms. Notably, we identify body mass, in conjunction with hunter accessibility and proximity to urban markets, as paramount drivers of hunting-induced declines in bird abundance. Our findings reveal a mean abundance reduction of 12% across tropics, with half of all forests harboring defaunated avian communities. Furthermore, large-bodied species and those inhabiting the Indomalayan realm exhibit the most pronounced declines. Moreover, we discern hotspots of defaunation covering 11.1% of pantropical forest area, characterized by distinct spatial patterns for species targeted in the pet trade (e.g., Brazil, China, Indonesia) versus those sought for consumption (e.g., Southeast Asia, West Africa). Our results underscore the pivotal role of hunter accessibility and urban market proximity as primary drivers of hunting-induced bird abundance declines, pinpointing critical areas where overexploitation imperils tropical bird populations, precipitating local extinction events.

**8) Laia Pérez Sorribes:** Bases genómicas del rescate genético del lince ibérico

La importancia de la diversidad genética y la contribución de los factores genéticos a la viabilidad de las especies amenazadas está siendo cada vez más reconocida en la legislación y la práctica conservacionista. Sin embargo, la falta de conocimiento sobre cómo los factores genéticos impactan en la aptitud de las especies en peligro de extinción está impidiendo que la genómica llegue a tener el impacto real prometido sobre la conservación de especies. El lince ibérico es un ejemplo único tanto de un declive dramático que afecta severamente a la diversidad genética, como de una recuperación espectacular impulsada por intensas medidas de conservación. Los indicios acumulados indican que factores genéticos han impulsado el declive en el pasado, a través de la depresión endogámica, y han favorecido su recuperación como resultado de la mezcla de las dos poblaciones remanentes mediante la cría en cautividad y las translocaciones (i.e. rescate genético). Este estudio investigará los mecanismos genéticos que han contribuido al aumento de la diversidad genética tras el rescate genético y su impacto en la mejora del fitness de los individuos. Además, se analizará si la introgresión pasada con el lince boreal ha dejado señales de selección adaptativa en el genoma de los lince ibéricos contemporáneos. Por último, se evaluará el papel de la selección balanceadora en el mantenimiento de altos niveles de diversidad genética en poblaciones pequeñas.

**9) Loréna Boisseau:** Acoustic Invasion: Evaluating the impact of invasive parakeets on the soundscape of a city and its residents

When novel noises are added to a soundscape, it can be detrimental to species relying on acoustic communication. For instance, anthropogenic noise has been widely shown to mask the propagation and reception of vocal signals, acting like a polluting agent of soundscapes. Vocalising invasive species have been proposed as sources of novel noises, but their acoustic impact on local native species has received little attention. Monk parakeets (*Myiopsitta monachus*) and rose-ringed parakeets (*Psittacula krameri*) are the two most successful invasive parrots, known for their loud and persistent calls. In this talk, I will present my PhD research plan, which assesses the impact of invasive parakeets calls on Sevilla's soundscape and its inhabitants. My study consists of four chapters using different scientific approaches. First, I will conduct a seasonal survey of



the soundscape of Sevilla's parks and gardens to quantify the acoustic presence of both species. Second, I will use passive acoustic monitoring to track their calling activity throughout the day and the year, focusing on nesting and roosting sites. Third, I will conduct a playback experiment to assess whether parakeets' calls mask the vocal transmission of native birds. Finally, I will survey and interviews Sevilla residents to evaluate their perception of both species' acoustic presence. Through these different approaches, we will enhance the understanding of the acoustic impact that vocal invasive species have on urban soundscape, on native wildlife and on city residents.




## **LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: BIOLOGÍA VEGETAL**

**1) Raúl Morón López:** El Diseño de las Invasiones. Rasgos diferenciales de las plantas ornamentales exóticas y su implicación en los primeros estadios de las Invasiones Biológicas

Muchos trabajos científicos han conseguido unir los rasgos funcionales de las especies vegetales con su capacidad para invadir y causar impactos en los ecosistemas receptores (e.g. van Kleunen et al., 2010; Drenovsky et al., 2012). El 93% de las especies de plantas vasculares que se han naturalizado en alguna parte del mundo son cultivadas en jardines públicos o botánicos (van Kleunen et al., 2018). Sin embargo, se cultivan muchas especies que nunca se establecen fuera de su región nativa. Por ello, un foco de los estudios en Biología de la Conversación ha sido comparar los rasgos funcionales de especies nativas y exóticas, o de especies exóticas invasoras y no invasoras. Pero la literatura que aborda la influencia de los rasgos funcionales en la introducción y la naturalización de las plantas invasoras es escasa. En mi tesis, estoy analizando las diferencias entre plantas leñosas ornamentales cultivadas en los parques de la España peninsular según (1) su origen, i.e. si son consideradas nativas o exóticas en España; y (2) su grado de invasión, i.e. si se han reportado como “no establecidas”, “naturalizadas” o “invasoras” según la legislación Española y Europea en Especies Invasoras.

**2) Pedro Valle Romero:** Desarrollo de una bioherramienta basada en inoculantes bacterianos para la restauración de hábitats de humedales de interés comunitario

Los humedales costeros son ecosistemas fundamentales que proporcionan servicios ecosistémicos clave, como el almacenamiento de carbono y la conservación de la biodiversidad. Sin embargo, están gravemente amenazados por actividades antropogénicas que ocasionan la degradación de su vegetación. La revegetación con especies nativas representa una estrategia esencial para su restauración ecológica, aunque las tasas de éxito suelen ser limitadas. Esta investigación propone el desarrollo de una bioherramienta basada en inoculantes bacterianos con propiedades promotoras del crecimiento vegetal (PGP) para apoyar la recuperación de humedales de interés comunitario. Se focaliza en tres especies de halófitas: *Atriplex portulacoides*, *Arthrocaulon macrostachyum* y *Sporobolus maritimus*. El proyecto se estructura en tres objetivos específicos: (i) establecer un protocolo de propagación vegetativa que incorpore inoculantes bacterianos para maximizar la producción de material vegetal destinado a la revegetación; (ii) optimizar la supervivencia, desarrollo y tolerancia al estrés ambiental de las plantas mediante la aplicación de bacterias PGP multifuncionales; y (iii) seleccionar y preparar parcelas experimentales para ensayos de campo. Los resultados preliminares indican que la combinación adecuada de sustrato, niveles de salinidad y bacterias PGP mejora significativamente la supervivencia, enraizamiento y crecimiento de las plantas en condiciones de invernadero. Asimismo, la inoculación bacteriana potencia la resistencia de las plantas frente a estrés salino y térmico. Además, se ha demostrado que el precondicionamiento (priming) térmico de las plantas activa mecanismos de tolerancia que las preparan para enfrentar condiciones ambientales adversas en escenarios controlados y de campo. Estos hallazgos subrayan la eficacia de las bacterias PGP y el manejo ambiental como herramientas innovadoras para restaurar humedales degradados.




**3) Procopio Peinado Torrubia:** Plants maximize chloride uptake during early vegetative development to stimulate cell expansion, maturation of the photosynthetic apparatus and growth

A pesar de ser un micronutriente esencial y su reciente clasificación como un macronutriente beneficioso, el cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) ha sido tradicionalmente considerado de poca relevancia en agricultura y un ion potencialmente tóxico. Este estudio aporta la primera demostración a nivel cualitativo y cuantitativo de la importancia  $\text{Cl}^-$  durante la fase de desarrollo vegetativo temprano (DVT). Durante esta etapa, las plantas manifiestan una demanda de este nutriente no asimilable y una tasa de transporte más elevada para maximizar el crecimiento en un amplio número de especies herbáceas y leñosas. Mientras que el  $\text{Cl}^-$  promueve la expansión celular en todas las fases de desarrollo, la estimulación de crecimiento destacada durante el DVT está relacionada con la mejora en el rendimiento fotosintético y la actividad del fotosistema II (PSII). Esta mejora está asociada a la reducción de la disipación de energía no regulada en el PSII [Y(NO)] y un incremento de la tasa de transporte electrónico, en combinación con los cambios ultraestructurales en los cloroplastos, indicando que  $\text{Cl}^-$  es requerido de forma específica durante el DVT para favorecer la maduración del aparato fotosintético. Contrario a lo que se observa en plantas adultas, las deficiencias de crecimiento en el DVT ocasionadas por la implementación de  $\text{Cl}^-$  a niveles inferiores a los propios de un macronutriente no pueden ser compensados por la suplementación de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). A medida que concluye el DVT, la demanda de  $\text{Cl}^-$  en la planta gradualmente decrece, acompañado de una reducción de la respuesta a  $\text{Cl}^-$  en el crecimiento y una dependencia a  $\text{NO}_3^-$ , enfatizando así que las necesidades nutricionales específicas del estadio de desarrollo. Estos hallazgos al observar el rendimiento de las plantas durante esta crítica etapa de desarrollo tienen consecuencias significativas en la optimización de practicas agrícolas, pudiendo reducir su dependencia en el uso de fertilizantes nitrogenados.

**4) Alba Rodríguez Parra:** Impacto de los rasgos funcionales y la disponibilidad de agua en las interacciones competitivas en el complejo autopoliploide *Dianthus broteri*

Las especies poliploides recién formadas suelen experimentar mayores tasas de extinción que sus homólogos diploides, lo que sugiere que, incluso después de establecerse a corto plazo, solo unos pocos poliploides logran persistir a largo plazo. Una posible explicación de este bajo éxito en la supervivencia de los poliploides es la interacción competitiva con su citotipo ancestral en zonas de contacto secundario emergente. Además, factores ambientales como la disponibilidad de agua y la divergencia en rasgos funcionales pueden influir en estas interacciones. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es desentrañar la dinámica competitiva entre poliploides y diploides, con un enfoque particular en el impacto modulador de la disponibilidad de agua y los rasgos funcionales. Realizamos un experimento de competencia en invernadero con cuatro citotipos (2x, 4x, 6x y 12x) de *Dianthus broteri*, bajo dos regímenes hídricos contrastados. Predijimos los resultados competitivos por pares utilizando la teoría moderna de la coexistencia. Además, exploramos la influencia de rasgos funcionales fisiológicos (SLA, AN, gs, LDMC, Fv/Fm, e iWUE) en las interacciones competitivas. Nuestros resultados muestran que la disponibilidad de agua en el suelo modificó la dinámica competitiva entre citotipos. Bajo condiciones de alta disponibilidad de agua, los citotipos de ploidía baja (2x y 4x) superaron a los de ploidía alta (12x y 6x), mientras que estos últimos exhibieron mayores




capacidades competitivas en condiciones de baja disponibilidad de agua. Estas diferencias se explicaron por los rasgos funcionales relacionados con los efectos competitivos (SLA) y la tolerancia a la competencia (AN, Fv/Fm e iWUE).

**5) Pilar Pineda Balbuena:** Respuestas ecofisiológicas y de producción de compuestos fenólicos de *Corema album* al estrés por sequía

*Corema album*, un arbusto dioico endémico de la Península Ibérica, se ha convertido en una especie de interés debido a la pérdida de su hábitat y su potencial farmacológico. El estudio de sus respuestas ecofisiológicas a la sequía es relevante en el contexto de los cambios climáticos previstos en el Mediterráneo, donde la intensificación de la sequía es un factor de estrés que afecta a la fisiología de las plantas y a la dinámica de los ecosistemas. Este estudio analiza los efectos de las condiciones abióticas en *C. album* evaluando sus respuestas tanto en condiciones controladas de invernadero como en el campo. Se estudiaron las respuestas fisiológicas bajo riego restringido durante la temporada de crecimiento y floración (marzo-junio). Las variables incluyeron la eficiencia fotosintética ( $\Phi$ PSII y Fv/Fm), la tasa de fotosíntesis neta (A), la tasa de transpiración (E), la conductancia estomática (gs), la eficiencia en el uso del agua (WUE), el crecimiento vegetativo, el contenido total de compuestos fenólicos y los potenciales hídricos y osmóticos de la planta. La sequía no provocó reducciones significativas en la función fotosintética ni en el potencial hídrico, aunque las variaciones diarias reflejaron una adaptabilidad en la eficiencia fotosintética. Sin embargo, el crecimiento vegetativo aumentó bajo condiciones de sequía moderada, lo que sugiere una respuesta compensatoria al estrés. En campo, se observaron variaciones estacionales y espaciales en la eficiencia fotosintética y el contenido fenólico en 30 individuos en El Asperillo (Huelva). Las plantas femeninas mostraron valores medios más altos de  $\Phi$ PSII y de contenido fenólico que las masculinas, especialmente en hojas más viejas. En julio se registraron los valores más elevados de  $\Phi$ PSII, con diferencias significativas entre zonas. Estos hallazgos revelan la plasticidad fisiológica y la resiliencia de *C. album*, destacando su potencial como cultivo sostenible en regiones mediterráneas. Su adaptabilidad al estrés hídrico resalta su papel en la mitigación de los impactos del cambio climático y en la estabilidad de los cultivos en entornos mediterráneos.

**6) Elena Mateos Martínez:** Evolución de la acumulación de carbono en diferentes especies arbóreas del bosque urbano

El arbolado urbano actúa como sumidero natural de dióxido de carbono gracias a su capacidad fotosintética. Una proporción de este carbono absorbido es acumulado, formando parte de estructuras vegetales, en su biomasa aérea (tronco, ramas y hojas) y subterránea (raíces), incrementándose en el tiempo debido al crecimiento del árbol. Este capítulo de la Tesis Doctoral se enfoca en el cálculo de la cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea de diferentes especies arbóreas que se han desarrollado en ecosistemas urbanos, a partir de modelos biométricos, análisis densimétricos y volumétricos de la madera de cada especie estudiada. Se realizan modelos para conocer la cantidad total de carbono almacenado de un ejemplar de especie y edad conocida, con el fin de conocer el papel del arbolado urbano en la acumulación del carbono a lo largo del tiempo y su función esencial para mitigar el Cambio Climático.




**7) Felipe Jesús Parra Perea:** Respuestas ecofisiológicas de la especie invasora *Spartina densiflora* en el estuario del Tinto (Suroeste de la Península Ibérica)

El cambio climático, la subida del nivel del mar y la contaminación son elementos clave del cambio global, transformando nichos ecológicos y favoreciendo la expansión de especies invasoras. Este estudio se centra en el avance de *Spartina densiflora* en el estuario del Tinto (Suroeste de la Península Ibérica), el más ácido y contaminado por metales del mundo, investigando su tolerancia a estas condiciones extremas. Se analizó el estrés de 50 individuos de *S. densiflora* a lo largo de un gradiente de 4500 metros, midiendo la tasa de crecimiento de las hojas, la fluorescencia de la clorofila y la tasa de semillas reabsorbidas. También se caracterizó el sedimento, midiendo el pH y la conductividad del agua intersticial. El pH varió de 7.5 aguas arriba a 2.9 aguas abajo, y la conductividad de 1.1 mS cm<sup>-1</sup> aguas arriba a 6.4 mS cm<sup>-1</sup> aguas abajo. El crecimiento de las hojas fue mayor aguas arriba, indicando la preferencia de *S. densiflora* por aguas salobres, a pesar de la acidez. Las plantas aguas arriba mostraron menor eficiencia fotoquímica real del PSII ( $\phi$ PSII) y mayor disipación de energía en forma de calor (mayor NPQ). La  $\phi$ PSII disminuyó y el NPQ aumentó con la disminución del pH del sedimento, sugiriendo una respuesta fotoprotectora al exceso de luz en condiciones ácidas y contaminadas por metales. Además, la tasa de reabsorción de semillas fue mayor aguas arriba y aumentó en condiciones más ácidas. Los resultados muestran que *S. densiflora* es muy tolerante a las condiciones ácidas y contaminadas por metales, aunque su aparato fotosintético y la producción de semillas se ven parcialmente afectados por el estrés en el estuario del Tinto.

**8) Francisco Jesús Moreno Racero:** Análisis integral del impacto del hydrochar en la interacción suelo-planta-microorganismo

El proyecto de tesis pretende abordar, desde un enfoque multidisciplinario, el impacto de la aplicación de hydrochar derivado de estiércol de gallina en el sistema suelo-planta-microorganismos. En particular, evalúa su potencial como enmienda alternativa a fertilizantes minerales convencionales (NPK), comparando los efectos sobre la productividad, los procesos biogeoquímicos del suelo y la dinámica del sistema. Para ello, se analiza cómo evoluciona la cantidad y calidad de la materia orgánica del suelo (MOS) enmendado, así como la concentración de nutrientes y los cambios que estos experimentan a corto y largo plazo. Además, se estudia el efecto de la aplicación de hydrochar en la germinación, el estado nutricional, la fisiología, el estado hídrico y la capacidad de respuesta a estrés en plantas de girasol (*Helianthus annuus* L.) y trigo (*Triticum aestivum* L.). Paralelamente, se investiga su influencia sobre la cantidad, composición y actividad de los microorganismos del suelo a lo largo del periodo de estudio. Al finalizar el estudio, se integrarán los datos obtenidos mediante análisis estadísticos multivariados para identificar la relevancia del hydrochar en la estabilidad, cantidad y calidad de la MOS, la biodisponibilidad de nutrientes, la actividad microbiana y la respuesta fisiológica de las plantas.



**9) Rocío Fernández Fuerte:** *Halimium halimifolium* y el ciervo: desentrañando la interacción entre dos especies sobreabundantes en el Parque Nacional de Doñana

*Halimium halimifolium* es un arbusto de la familia Cistaceae y uno de los principales componentes de la vegetación del Parque Nacional de Doñana, principalmente en el hábitat conocido como Monte Blanco. La semacoria es su mecanismo de dispersión a corta distancia. Sin embargo, se desconocen los mecanismos de dispersión a larga distancia que le ha permitido establecerse a lo largo de la amplia área del matorral de Doñana. Los ungulados, principalmente el ciervo (*Cervus elaphus*) son los herbívoros más abundantes del área de Doñana y normalmente se alimentan de las hojas, flores y frutos del *H. halimifolium*, y con ello de sus semillas, siendo potenciales dispersores mediante endozoocoria, o depredadores de semillas, estableciendo una relación que oscila entre mutualista y antagonista. El objetivo principal de esta tesis es separar los componentes mutualista y antagonista de la interacción entre estas dos abundantes especies mediterráneas para conocer el signo y la magnitud de la relación. Para ello, los capítulos de la tesis se centrarán en lo siguiente: evaluación de la magnitud de la herbivoría de cada componente de la planta (hojas, flores y frutos maduros e inmaduros) dependiendo de su momento fenológico, estima del tiempo de retención de las semillas maduras dentro del tracto digestivo del ciervo, y revisión de la capacidad de germinación tanto en el laboratorio como en el sustrato de Doñana tras haber sido ingeridas por el ungulado. Finalmente, con la integración de los resultados podremos expandir nuestro conocimiento sobre la dinámica poblacional del *H. halimifolium* a largo plazo.

**10) Elena Romano Rodríguez:** Análisis de la contribución de las bacterias endófitas a los mecanismos de tolerancia de las halófitas frente a la salinidad y el cambio climático

La mayoría de los estudios sobre halófitas se han centrado en la regulación fisiológica y genética de la tolerancia a la salinidad. Sin embargo, la tolerancia de las plantas también está vinculada a procesos ecológicos complejos en la rizósfera y la endosfera (Ruppel et al., 2013). Aunque se sabe mucho sobre los organismos rizosféricos, las comunidades endófitas asociadas a las halófitas siguen siendo poco conocidas. Las plantas interactúan con diversos microorganismos que promueven su crecimiento y mitigan el estrés. Entre las bacterias asociadas a las plantas, los endófitos han demostrado aliviar los efectos del estrés salino al inducir ajustes osmóticos, desintoxicación, modulación de fitohormonas y adquisición de nutrientes (Liu et al., 2017). Sin embargo, los mecanismos exactos mediante los cuales provocan este efecto siguen siendo en gran parte desconocidos. En este proyecto, nos adentramos en el estudio de las comunidades bacterianas endófitas de seis tipos diversos de halófitas, con distintas estrategias de supervivencia: xero- e hidro-halófitas. Su identificación, el estudio de propiedades promotoras del crecimiento vegetal in vitro, la relación con las condiciones climáticas y estudios transcriptómicos en plantas modelo, permitirán arrojar más luz sobre los mecanismos de supervivencia de las plantas halófitas y el papel de su microbioma en su resistencia al estrés salino en el contexto de cambio global.





**11) Francisco Javier Borrallo Vázquez:** Cómo entrenar a tu fago: Coevolución Digital y Artificial Life

La resistencia bacteriana a los antibióticos será la primera causa de mortalidad dentro de 25 años. Y para combatir las infecciones bacterianas usaremos a sus enemigos naturales, los virus bacteriófagos o fagos. Sin embargo, necesitaremos entrenar a los fagos previamente para que sean capaces de eliminar no sólo a la cepa bacteriana causante de la infección sino también a sus futuras variantes genéticas que tratarán de evadirlos. ¿Cómo entrenar a un fago para que coevolucione en la misma dirección que la bacteria causante de la infección? Nosotros proponemos un acercamiento computacional, mediante la replicación de este proceso entrenando programas informáticos análogos a los fagos cuyos genomas mutan y evolucionan para seguir infectando a sus hospedadores bacterianos. Este gemelo digital de la evolución biológica nos permite llevar a cabo experimentos computacionales con fagos y bacterias in silico antes de ponerlos en práctica en el laboratorio de microbiología y agilizar este proceso analítico, proveyendo al investigador de una perspectiva inicial de que elementos son los más atractivos para seleccionar un fago terapéutico.




## **LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: BIOLOGÍA MOLECULAR Y CELULAR, MICROBIOLOGÍA**

### **1) Juan Garrido García:** Biophysics of visual systems: from 2D to 3D

La aplicación de teorías físicas y simulaciones como la mecánica de continuos o los modelos de vértices está cada vez más extendida en el estudio de sistemas biológicos. Sin embargo, existen enfoques de otros campos que no se han aplicado a ámbitos como la Biología del Desarrollo, en particular durante la morfogénesis. La construcción de estructuras complejas plantea problemas, entre ellos el transporte de materiales y su ensamblaje. Recientemente se han desarrollado materiales auxéticos de despliegue rápido y programado. Una versión de estos materiales consiste en una distribución plana de triángulos conectados de diferentes tamaños que tienen codificada la curvatura de una superficie objetivo. Esta superficie se obtiene aplicando una presión isótropa a la malla de triángulos. Aquí presentaremos datos de la aplicación de los principios auxéticos a un problema complejo: el desarrollo de los ojos compuestos de insectos. En el estadio de pupa de *Drosophila melanogaster*, mediante segmentación de imágenes, hemos encontrado que los ommatidios forman una distribución de triángulos que biológicamente sufren una expansión mediada por la presión hidrostática de la parte basal. Por ello, hemos desarrollado un modelo que combina ingeniería de materiales y biofísica para simular este crecimiento y obtener la superficie del ojo adulto a partir de los ommatidios del estadio pupal. Para validar este modelo, hemos segmentado imágenes de la superficie ocular de sujetos adultos y desarrollado un método de comparación de superficies basado en la curvatura adimensional gaussiana que permite conocer la similitud entre los resultados de nuestro modelo y los experimentales.

### **2) Belén Suárez Murillo:** Respuesta a disponibilidad de luz en la cianobacteria *Nostoc sp.* PCC 7120

*Nostoc sp.* PCC 7120 es una cianobacteria filamentosa capaz de diferenciar células especializadas en la fijación de nitrógeno atmosférico, denominadas heterocistos. También es capaz de adaptarse a cambios en otras condiciones ambientales como la disponibilidad de luz, esencial para la fisiología de estos organismos fotosintéticos. Hemos llevado a cabo un experimento en el que analizamos la respuesta rápida (15 minutos) a la oscuridad o la iluminación intensa. Los datos de RNA-Seq obtenidos se han combinado con la información previa disponible para el transcriptoma de *Nostoc sp.* PCC 7120, que se había definido tanto en condiciones óptimas de crecimiento como en condiciones de limitación de nitrógeno. De esta manera hemos podido ensamblar una versión avanzada del transcriptoma, que contiene información para todas las condiciones mencionadas e incluye 390 nuevos transcritos respecto del transcriptoma previamente publicado. A partir de este nuevo transcriptoma, se ha realizado un análisis de expresión diferencial para identificar transcritos que se inducen o se reprimen en condiciones de exposición a luz intensa, oscuridad y/o limitación de nitrógeno. Los perfiles de expresión pueden agruparse en 12 clusters de expresión según las respuestas que muestran a las diferentes condiciones, obteniéndose clusters específicos de una condición, o clusters con respuestas similares a más de una condición. Se ha comprobado mediante northern




blot la expresión de algunos de los transcritos y se ha realizado una búsqueda de motivos regulatorios entre las secuencias promotoras de los transcritos de un mismo cluster, para identificar motivos de secuencia que puedan estar asociados a la expresión en una determinada condición.

**3) Ana María Cutiño Gobeá:** Understanding the molecular basis of *Sinorhizobium fredii* HH103-soybean compatibility conferred by NopM effector

To establish nitrogen-fixing symbiosis with host legumes, rhizobial bacteria must bypass the plant immune system. Similar to plant pathogenic bacteria, many rhizobial strains suppress plant defenses by delivering effector proteins into host cells via the Type III Secretion System (T3SS). However, these protein effectors do not always suppress plant immunity. Plants have evolved host resistance (R) genes that can directly or indirectly recognize T3SS effectors, blocking bacterial infection through the activation of effector-triggered immunity (ETI). The molecular mechanisms by which plants recognize rhizobial effectors remain poorly understood. *Sinorhizobium fredii* HH103 is a promiscuous strain symbiotically compatible with the agronomically important soybean cultivar William 82 (W82). We hypothesize that HH103's symbiotic compatibility and nodulation phenotypes are driven by evolutionary processes involving the recognition of T3SS-secreted effectors. Our goal is to investigate the role of the HH103 NopM effector in the soybean host. Using a loss-of-function mutant strain, we observed a significant reduction in nodule number in W82 plants compared to those inoculated with the wild-type strain. Additionally, we confirmed that NopM contains a signal peptide in its terminal region that facilitates secretion through the T3SS. To identify NopM's role during symbiosis, we have identified its targets in W82 through yeast two-hybrid screenings and IP-mass spectrometry analyses. This work has revealed a list of candidate targets, including R proteins, nodule development-related genes, and ethylene-response transcriptional regulators, that might be relevant for root-nodule symbiosis. Previous work revealed that NopM acts as a ubiquitin-ligase enzyme (E3), suggesting that NopM may bind these targets and mediate their degradation through the ubiquitin-proteasome system. Future work will elucidate the precise molecular mechanisms by which NopM facilitates symbiosis in nodule development. Understanding the molecular mechanisms of NopM in symbiosis could be relevant for enhancing legume-rhizobia interactions in agriculture.

**4) Javier De la Peña Noya:** *Pseudomonas putida* membrane vesicles: a potential biocontrol tool?


*Pseudomonas putida* is a gram-negative bacterium inhabiting the rhizosphere of plants. Due to its successful antagonism towards phytopathogens, it can be used as a biocontrol agent to protect crops. Beyond well-known mechanisms of cell-to-cell interactions i.e. siderophores, T6SS or quorum sensing, membrane vesicles (MVs) have arisen as a novel communication system operating across species and kingdoms. MVs are small membranous spheric vessels conveying biomolecules like DNA or metabolites between cells. Among the functions conducted by MVs are the elimination of waste, nutrient acquisition, or the secretion of bioactive molecules. Analysing the mechanisms



underlying MV biogenesis and cargo packaging is instrumental to develop novel technologies based on MV for biocontrol purposes. To this end, we tested a range of conditions to assess MV yields and morphologies in the model organism *P. putida*. These include extraction of MVs at different physiological phases, grown on different carbon sources, and at different temperatures and iron availability. We analysed the size and concentration of *P. putida* MVs employing Nanosight technology. Complementarily, we used a dye that intercalates in the lipid bilayer of the MVs emitting fluorescence. Subsequently, we visualised the morphology and integrity of the MVs by transmission electron microscopy. Finally, we analysed the proteomic profile of these samples by quantitative proteomics (LC-MS/MS) to identify proteins consistently present across all conditions. This will allow us to deduce which ones are involved in MV biogenesis. Our observations indicate that the size of the MVs ranges between 20– 600 nm depending on the analysed condition, being 100 nm the most frequent size. We observed that while high temperature leads to the formation of smaller MVs (~80 nm), benzoate generates larger ones (~125 nm). Additionally, glycerol increases *P. putida* vesiculation by 5-fold compared with the LB control.

**5) Elena Bellido Lama:** Quantitative analysis of microglia 3D organization in physiological and pathological conditions

Microglia are the resident immune cells of the central nervous system (CNS), performing critical roles in brain development and homeostasis. They cover the whole brain parenchyma, where each microglia cell occupies a fixed position. This spatial organization of microglia is thought to be critical in keeping local surveillance. Microglial dysfunction is tightly associated with neurological disorders. AD microglia show altered organization, including morphological changes and local cell clustering around senile amyloid- $\beta$  ( $A\beta$ ) plaques. Therefore, a proper characterization of microglia organization is key to understanding the physiological role of microglia and the mechanisms underlying neurological diseases, and may set up a new standard in the study of this relevant cell type. To accomplish this task, this study present a DL-based segmentation tool, consisting in a convolutional neural network, to specifically segment this type of neurological images. Segmented images of microglia soma provide data about their spatial morphology and spatial distribution in different regions of interest (ROIs) of the brain, comparing WT vs. AD model. For AD brains, the ROIs explore regions where the presence of  $A\beta$  plaques is more prominent, as well as regions where the  $A\beta$  deposits have not appeared yet, in order to to predict changes in microglia distribution. Alongside with the segmentation tool, we developed a 3D scale based on a voronoi model that allows the quantification of microglia organization in the mouse brain. This computational reference will serve to investigate the changes in microglia distribution that take place in mouse models of Alzheimer's disease (AD).




**6) Lucía Jiménez Ríos:** Desarrollo de biofertilizantes microbianos como fomento de una agricultura sostenible

El uso excesivo de fertilizantes nitrogenados sintéticos (SNF) en la agricultura genera problemas ambientales significativos, como la emisión de gases de efecto invernadero y la contaminación hídrica. Este trabajo propone el desarrollo de un biofertilizante a base de cianobacterias fijadoras de nitrógeno para reducir la dependencia de estos SNFs en cultivos del Bajo Guadalquivir. El procedimiento consiste en el aislamiento de cepas autóctonas de cianobacterias de suelos agrícolas de la región y la selección de aquellas con mayor potencial biofertilizante mediante la evaluación de actividades promotoras del crecimiento vegetal (PGP). Estas son su capacidad para fijar nitrógeno, solubilizar hierro y producir fitohormonas (auxinas y citoquininas). También se analiza su interacción simbiótica con cultivos de interés, utilizando arroz (*Oryza sativa*) como modelo, debido a su relevancia en la zona estudiada. Las cepas seleccionadas se evalúan en ensayos *in vitro* en cámaras de cultivo y, posteriormente, en condiciones de campo. Se optimizan las condiciones de crecimiento y almacenamiento del biofertilizante a escala de laboratorio y piloto, considerando la viabilidad económica del proceso. Los resultados esperados indican que estas cianobacterias pueden mejorar el crecimiento vegetal y reducir la necesidad de fertilizantes sintéticos, ofreciendo una alternativa ecológica y rentable. Este enfoque interdisciplinar busca contribuir al desarrollo de una agricultura más sostenible y a la mitigación del impacto ambiental asociado a la fertilización química.

**7) María del Carmen Sánchez Aguilar:** Papel del diguanilato cíclico en la regulación de diversos procesos celulares en *Sinorhizobium fredii*

La concentración de diguanilato cíclico intracelular (di-GMP-c) está implicada en cambios en el estilo de vida de numerosas bacterias que interactúan con eucariotas, entre ellas los rizobios. El aumento de la concentración de este metabolito, mediado por diguanilato ciclasas (DGC), está relacionado con condiciones de sesilidad y formación de biofilms, mientras que su disminución llevada a cabo por fosfodiesterasas (PDE), se asocia con la movilidad y virulencia en bacterias. La regulación de los genes implicados en estos cambios de estilo de vida cobra una especial importancia en los rizobios, que desarrollan parte de su ciclo de vida como saprófitos en la rizosfera y otra parte en el interior de las leguminosas donde fijan nitrógeno en condiciones simbióticas. Además, esta compleja regulación está imbricada con los mecanismos de Quorum Sensing (QS) utilizado por las bacterias que, en base a una determinada densidad celular, coordinan la expresión de diversos genes implicados en el proceso de nodulación, la formación de biofilms y/o la producción de exopolisacáridos entre otras funciones. Estudios recientes han puesto de relieve la complejidad de los sistemas QS en rizobios, revelando numerosas moléculas de señalización y vías reguladoras que garantizan un control preciso sobre las interacciones simbióticas. Este proyecto plantea la alteración sintética de las concentraciones intracelulares de di-GMP-c en diversos rizobios, y el análisis de la relación de estas alteraciones con la producción de acil-homoserina-lactonas (AHLs), la expresión de genes implicados en la nodulación o procesos implicados en la comunicación entre poblaciones bacterianas y con su entorno mediados por los



diferentes sistemas de secreción de proteínas presentes en los rizobios. Estos procesos en muchos casos dan lugar al cambio de estilo de vida de las poblaciones bacterianas, dando lugar a comunidades móviles o sésiles que podrán iniciar un proceso de nodulación.