



Academia de Ciencias Matemáticas,  
Físico-Químicas y Naturales de Granada

## **MICORRIZAS Y CAMBIO CLIMÁTICO**

DISCURSO PARA EL ACTO DE SU RECEPCIÓN  
COMO ACADÉMICO NUMERARIO POR EL

**ILMO. SR. D. JOSÉ-MIGUEL BAREA NAVARRO**

GRANADA, 2012

## **MICORRIZAS Y CAMBIO CLIMÁTICO**

**JOSÉ-MIGUEL BAREA NAVARRO**

**Excelentísimo Señor Presidente,  
Excelentísimos e Ilustrísimos Señores Académicos,  
Queridos compañeros y amigos,  
Señoras y Señores**

Tal como la experiencia vivida nos demuestra, el camino por el que discurre nuestra existencia está jalonado por una sucesión de hitos de muy diverso origen y naturaleza, hitos que, en muchos casos, han sido fundamentales tanto para el progreso de nuestra actividad personal y profesional como para el logro de nuestros fines. Es innegable que algunos de esos avatares que han marcado nuestro devenir, están condicionados por lo que, utilizando una expresión coloquial, podríamos catalogar como “golpes de fortuna”. Estas reflexiones vienen al caso en este momento, así es que aquí y ahora, quiero expresar mis sentimientos y reconocer públicamente que el haber sido propuesto para ser miembro de la Academia de Ciencias Matemáticas, Físico-Químicas y Naturales de Granada ha sido un hito clave en mi vida científico-académica, hecho que considero un favor inmenso con el que me ha obsequiado la “diosa fortuna”.

Por ello, Señor Presidente y Señores Académicos, muchísimas gracias por esta distinción. Así, haciendo también partícipes a los distinguidos Señoras y Señores que nos acompañan, y agradeciendo a todos su presencia en este Acto Académico, me dirijo a ustedes para manifestarles que para mí ha sido un gran honor el que se haya aceptado mi candidatura para ser nominado Académico Numerario de esta Academia, en su Sección de Naturales. Ese honor lo recibo como un premio a mi carrera científica, consideración que me llena de orgullo y satisfacción, pero que también me ha cargado de responsabilidad. En este sentido, y consciente de ello, les manifiesto mi deseo y esperanza de no defraudar a mis ilustres nuevos colegas, miembros de esta distinguida Academia. Y es por ello que les digo que pondré todo mi empeño en el desempeño de mis obligaciones y que deseo profundamente poder contribuir de forma decisiva a lograr los objetivos y éxitos que se esperan de esta Institución.

Mi más sincero y profundo agradecimiento por apoyar mi candidatura a los señores académicos que, en muchos de los casos, probablemente solo conocían de mí la documentación curricular que presenté en su día para solicitar mi ingreso en esta Academia. A todos les agradezco colectivamente su consideración, pero quiero hacer una mención especial de agradecimiento a dos de mis mentores: los profesores D. José Olivares Pascual y D. Alberto Ramos Cormenzana, ilustres miembros de la Academia, mis maestros, de los que me consta su apoyo, cariño y amistad. Compañeros ambos en el Instituto del Consejo Superior de Investigaciones Científicas donde desarrollo mi trabajo científico-académico: la Estación Experimental del Zaidín (El Zaidín, como lo denominamos entre nosotros), de los que siempre recibí sus influjos científicos y orientación, tanto profesional como personal. Alberto Ramos orientó mis primeras investigaciones en la Cátedra de Microbiología de nuestra Facultad de Farmacia, cuando aún yo cursaba mis estudios de Licenciatura. También me aconsejó y apoyó mi incorporación al Zaidín, así como diseñó mi Tesis Doctoral que, sobre el tema “Bacterias del suelo solubilizadoras de fosfatos” (estamos hablando de biofertilizantes de las plantas), defendí en esta Universidad hace ya más de 4 décadas. Es para mí un orgullo haber sido co-autor del profesor Ramos, junto con el profesor D. Vicente Callao, en mis primeras publicaciones científicas (1). A José Olivares, compañero de trabajo en El Zaidín, durante los ya rebasados 45 años, le agradezco esa inagotable cascada de aporte constante de conocimientos científicos y humanísticos, y sus consejos y estrategias de trabajo que son modelo a seguir, cosa que siempre procuré. Mi eterna gratitud a ambos por vuestra Ciencia y Maestría, y muy especialmente por vuestra Amistad.

Les hablaba al iniciar este mi discurso de ingreso de los “golpes de fortuna” que modulan los hitos que jalonan nuestras vidas. Una inmensa suerte fue el haber cursado mis

estudios de Licenciatura en la Facultad de Farmacia en esta Universidad, que con sus seis Cursos Académicos de que constaba en la década de los 60, nos ofrecía un compendio de todos los saberes entonces conocidos en Ciencias Naturales. Conocimientos que han sido fundamentales en mi desarrollo científico-académico, que hoy se ve premiado con mi ingreso en esta Academia.

No cabe duda que fui “tocado por la fortuna” al incorporarme en el año de 1966 para hacer mi Doctorado en la Estación Experimental del Zaidín, e iniciar y desarrollar una carrera científica en ese magnífico Instituto del CSIC, carrera que he simultaneado con actividades docentes en las Facultades de Farmacia y Ciencias de esta Universidad: Profesor Ayudante, Adjunto, Encargado de Curso y, actualmente, profesor en Programas de Doctorado y Masters de Excelencia. Al entrar en El Zaidín, además de haberme encontrado con los maestros José Olivares y Alberto Ramos, también tuve la suerte de hallar a otro ilustre académico, que lo fue de esta Corporación: el profesor D. Enrique Montoya, al que recuerdo muy especialmente por sus conocimientos científicos y su filosofía de vida, y que yo recibía de él con especial cariño por razones de amistad y vecindad. Recibir los influjos científicos y humanos de los profesores D. Luis Recalde Martínez, D. Vicente Callao Fabregat y D. Federico Mayor Zaragoza, mis maestros en la Facultad de Farmacia y en El Zaidín, su legado fue también otro regalo de la diosa fortuna de incalculable valor para el buen fin de mi carrera. Todos ellos creyeron en mí, en mis ideas y en mi trabajo. A los seis les debo una gran parte de lo que soy desde el punto de vista humano, científico y académico. Como decía Newton *“Si he conseguido ver tan lejos, es porque he podido apoyarme en las espaldas de los gigantes que me precedieron”*. Una idea también expresada por André Guide cuando decía *“Todas las olas del mar deben la belleza de su perfil a las que las precedieron y se retiraron”*.

Después de 45 años en los que me he dedicado a investigar, y así poder mostrar a mis Alumnos, a la Ciencia y a la Sociedad, como viven y actúan los microorganismos que habitan en el suelo sustento de las plantas, se me abrió un abanico de posibilidades para elegir el tema de este discurso. Lo que siempre tuve claro es que cualquiera de los posibles temas debería tener como elemento vertebrador el describir las actividades de los microorganismos que protagonizan acciones beneficiosas para el crecimiento, la salud y la productividad, sostenible en el tiempo, de las plantas, tanto en sistemas agrícolas como en ecosistemas naturales. Finalmente, me decidí por un tema de extrema vigencia, marcado por su preocupante impacto medioambiental, así es señores académicos que mi discurso versará sobre *“Micorrizas y cambio climático”*. Dicho de forma más expandida, y utilizando la terminología actualmente utilizada en torno a dicha temática, voy a hablarles de *las*

*micorrizas como estrategia de gestión adaptativa para potenciar la resiliencia de los sistemas suelo-planta en un escenario de cambio climático global.* A buen seguro que, tanto el propio título del tema de mi discurso como algunos de los componentes de su temática, les puedan parecer algo extraños a alguno de los miembros de la audiencia. Siendo consciente de ello, trataré consecuentemente de aclarar conceptos, de convencerles de mis ideas, y de no aburrirles en esta exposición de las mismas.

Empezaré por una de las palabras clave de mi discurso: “**micorrizas**”. El vocablo micorriza deriva etimológicamente del griego: “micos” = hongo y “riza” = raíz. En efecto, se conoce con el nombre de micorriza a un modelo específico de asociación que se establece de forma natural entre ciertos hongos del suelo y las raíces de las plantas. La asociación micorrícica, omnipresente, estable y duradera, es de carácter “simbiótico”, concepto que alude a una forma de vida en común e íntima de los organismos implicados, en este caso, el hongo y la planta. Además, la simbiosis micorriza es de tipo “mutualista”, al resultar beneficiosa para ambos componentes de la misma. Se trata realmente de una simbiosis mutualista universal ya que, salvo escasas excepciones, todas las plantas están micorrizadas en cualquier tipo de suelo, bioma o ecosistema terrestre (2). El hongo es habitante común de los suelos en donde crece de forma limitada hasta que logra contactar con raíces en desarrollo. Se inicia entonces un diálogo molecular hongo-raíz que conduce al reconocimiento mutuo de los dos simbioses. Tras el contacto, el hongo penetra en la raíz y la coloniza sin causarle perjuicio a la planta, que lo acepta como un amigo. Para acomodar al hongo, la planta activa una batería de genes, llamados consecuentemente “genes simbióticos”, mientras que atenúa su respuesta de defensa, que sí hubiera expresado con contundencia si el hongo fuese un patógeno y no un “**simbiote amigo**”. Cuando el hongo está bien establecido en la raíz, desarrolla en el suelo una estructura tridimensional de hifas que emergen de la raíz micorrizada y que explora los microhabitats del suelo que circunda a la raíz. Este micelio actúa a modo de un sistema radical complementario de extraordinaria eficacia e importancia para la adquisición de nutrientes y agua para las plantas. Actividad que ejerce no solo por sus características físicas y ecológicas, especializadas en la captación de esos elementos vitales, sino por la maquinaria fisiológica, bioquímica y molecular de que está dotado para realizar dicha función (3). Adicionalmente, las micorrizas confieren a las plantas una mayor capacidad de resistencia que se manifiesta en una mayor capacidad de tolerancia a los estreses ambientales: ataque de patógenos, salinidad, sequía, contaminación, entre otros (4), actividades que posteriormente detallaré.

La mayoría de las plantas superiores, aproximadamente el 80 % de las especies que habitan los ecosistemas terrestres, forman las llamadas micorrizas “arbusculares” en las cuales el hongo implicado es microscópico. Estos hongos de las micorrizas arbusculares son por tanto, miembros de las inmensas poblaciones de microorganismos que viven en el suelo asociados a las raíces de las plantas, en muchos casos, beneficiando el desarrollo y salud de las mismas. Las micorrizas arbusculares son fundamentales para los sistemas agrícolas en donde la aplicación de preparados, a base de estos hongos micorrícicos como inoculantes, puede representar una reducción sustancial en el uso de productos agroquímicos comerciales tales como fertilizantes, fitofarmacos, etc. (5, 6).

Pero dejemos por ahora las micorrizas, a las que volveré posteriormente, para justificar otros aspectos y componentes del contenido de mi discurso. Me refiero a los relacionados con el “cambio climático global”. Para ello, inicio esta parte de mi exposición haciendo referencia al hecho de que en la información científica, técnica y de divulgación, difundida tanto en los medios de comunicación social como en los de investigación científico-técnica, aparecen con frecuencia expresiones tales como: “cambio global”, “calentamiento global”, “cambio climático”, “efecto invernadero”, “capa de ozono”, etc. Todos ellos aluden a un problemática medioambiental evidente. Desafortunadamente, también escuchamos otros términos también preocupantes tales como: “reducción de la productividad agrícola y forestal”, “pérdida de biodiversidad”, “degradación de los ecosistemas”, etc. Hechos que son todos ellos una consecuencia del citado en primer lugar: *el cambio global*, o mejor dicho, y como expresa la terminología de uso vigente, del *escenario de cambio global* en el cual vivimos (7, 8), de cuyas causas y consecuencias hablaré posteriormente. Se trata de aspectos preocupantes que representan un “reto” para la Humanidad y que esperan la “respuesta” de la Ciencia y de la Sociedad. Siempre el binomio el reto y la respuesta que marca nuestro proceder.

En efecto, cuando el historiador británico Arnold Joseph Toynbee elabora la teoría denominada así: “del reto y la respuesta”, manifestaba que *“las civilizaciones fructifican o perecen según respondan a los retos que les presenta la historia”*. En cualquier caso, *“la circunstancia es lo ocasional; la decisión ante ella es lo esencial”*, como puntualizaba Ortega y Gasset. En el caso que nos ocupa, lo esencial es que el reto histórico del “cambio global” está recibiendo la respuesta de la Ciencia mediante lo que denominamos *“Impulsos tipo Concepto/Acción”*. En lo referente al hecho concreto sobre el que pivota mi discurso, que es el impacto de las micorrizas sobre el funcionamiento y productividad de los sistemas suelo-planta en un escenario de cambio global, los impulsos concepto/acción aluden a temas tales

como: “sostenibilidad”, “agroecología”, “restauración de ecosistemas”, “recuperación de flora amenazada”, “inducción de resistencia a estreses ambientales”, “incremento de la resiliencia”, “gestión adaptativa de la biodiversidad”, etc. Al igual que indiqué anteriormente, puede que algunos de esos términos que acabo de citar no sea familiar a algún miembro de la audiencia. Tal es el caso del concepto “**resiliencia**”. Este término se refiere a la capacidad de recuperación de un organismo (o una comunidad) frente al impacto negativo de cualquier fenómeno adverso. En ecología de las comunidades de plantas o de los ecosistemas en su conjunto, el término resiliencia indica la capacidad de estos para absorber perturbaciones, sin alterar significativamente su estructura y funcionalidad. Es decir, que la comunidad vegetal y su entorno puedan recuperarse, e incluso regresar a su estado original, una vez que la perturbación ha terminado (9).

Otros conceptos vertidos en el contenido de mi discurso, como los que aluden a lo que se conoce como **gestión activa y adaptativa**, también pueden necesitar alguna justificación para relacionarlos con el fenómeno del cambio global. En efecto, dada la magnitud del reto que representa enfrentarse a los impactos negativos del cambio global sobre los cultivos o sobre los ecosistemas naturales, es fundamental intuir y aplicar medidas de gestión adecuadas. La gestión ha de ser capaz de adelantarse a los impactos negativos de los cambios que están ocurriendo en la Tierra y facilitar la adaptación de los organismos vivos y los ecosistemas a dichos cambios. Utilizando como modelo uno de los documentos difundidos sobre este tema, como es el denominado *Observatorio del cambio global de Sierra Nevada* (9, 10), recojo para ustedes unas ideas que considero de interés. Dice este documento que no se trata de conservar nuestros ecosistemas de manera estática, sino de promover una conservación dinámica de sus funciones y procesos que les ayude a adaptarse a los cambios que ya están experimentando. Esto es lo que hoy día se entiende como gestión activa y adaptativa. En este sentido, el concepto/acción “adaptación” incluye una serie de ajustes en las prácticas, procesos y estructuras, como respuesta, o anticipándonos, a los cambios en las condiciones ambientales. En esencia, las medidas de “gestión adaptativa” al cambio climático son las que van dirigidas a reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas, y de las personas que dependen de ellos, frente a los impactos negativos de tales cambios. En suma, las estrategias de gestión adaptativa en un escenario de cambio climático global deben estar orientadas a contribuir a la protección de los recursos naturales: el agua, el suelo y la diversidad de los seres vivos (9).

Realmente no es preciso insistir, por bien conocido, en este último concepto vertido: la diversidad de los seres vivos, o sea la **biodiversidad**, tema de una enorme transcendencia

para el funcionamiento del Planeta. Es obvio, que estamos hablando de biodiversidad en sus diferentes escalas ya sea genética, de las especies o de los ecosistemas. En este sentido, se creó la llamada Red Natura 2000 que es una red de áreas de conservación de la biodiversidad que se ha establecido en Europa. Su finalidad es asegurar la supervivencia a largo plazo de las especies y los hábitats más amenazados de nuestro Continente, contribuyendo a detener las pérdidas ocasionadas por el impacto adverso de las actividades humanas. Es el principal instrumento para la conservación de la naturaleza en la Unión Europea pero, tanto a nivel del Estado Español como de las Comunidades Autónomas, también se han propuesto acciones específicas en este sentido. Tal es el caso de la *Estrategia andaluza de gestión integrada de la biodiversidad* (11). Como indica ese documento, hay varios argumentos fundamentales que justifican la conservación de la diversidad biológica. En primer lugar, está nuestro compromiso orientado a la protección de un legado natural y cultural excepcional, así como la necesidad de una garantía de futuro que permita asegurar la prosperidad y bienestar para la sociedad, lo que se conoce como “**capital natural**”. Las estrategias para la conservación de la biodiversidad tienen como objetivos fundamentales promover la valoración de los bienes y servicios, sean tangibles o intangibles, derivados de la biodiversidad y del adecuado funcionamiento de los ecosistemas, así como garantizar la conservación de los recursos para las generaciones venideras. Hoy está absolutamente aceptado que la principal causa de la pérdida de biodiversidad estriba en las variaciones que experimentan los ecosistemas debidas a fenómenos relacionados con el cambio climático.

Llegado a este punto, ruego a la audiencia que me permita una reflexión personal. A veces nos ha ocurrido, cuando hablamos de algo que hemos aprendido en nuestro entorno familiar, que se dice, “quiero agradecer a mi padre que me clarificó las ideas sobre un determinado tema que no conocía”. Creo que, en más de una ocasión, todos hemos pronunciado una frase más o menos similar a esa. En este caso la frase tiene un sentido diferente. Así que debo decir para hacer justicia “quiero agradecer a mi hijo José-Miguel, investigador en temas relacionados con lo que anteceden, el que me explicara conceptos y fundamentos sobre las aproximaciones que actualmente se siguen para abordar las tareas que precisa el mantenimiento de la biodiversidad y de los recursos naturales en un escenario de cambio global. Así fue.

Continuando con el “hilo conductor” de mi discurso, y una vez expuesta la problemática entorno al escenario de cambio global en el que vivimos, voy a retornar a las micorrizas. Concretamente, se puede aseverar que hoy día se acepta de forma generalizada que la definición más pragmática de la función que realizan estas simbiosis hongo-planta es



aquella que las reconoce *como agentes anti-estrés en agro-ecosistemas*. Como tales, las micorrizas mejoran la resiliencia de las plantas y de la comunidad, así mismo, son auténticos paladines de la conservación de la diversidad de plantas en el Planeta. Después citaré ejemplos que avalan tales aseveraciones. Lo que sí quiero resaltar ahora es que un componente importante en las acciones de gestión adaptativa es conseguir la optimización del estado micorrícico de las plantas para que estas puedan contrarrestar los impactos negativos del cambio climático, y a evitar aquellos que conllevan a distintos grados de amenaza para un bioma (4, 6, 12).

Fue por ello, y en el contexto de la sostenibilidad en agricultura y de la biología de la conservación de ecosistemas y especies amenazadas, que surgió en nuestro grupo de investigación en El Zaidín una propuesta general basada en optimizar el estado micorrícico de las plantas como acción de gestión adaptativa dirigida a mejorar la resiliencia de los cultivos y ecosistemas. Ello incluye el mantenimiento de la diversidad de las plantas, particularmente de las especies amenazadas. Esta es la razón señores que me llevó a elegir este tema como protagonista de mi discurso.

Una vez introducidos los conceptos básicos de la tesis que defiende este discurso quiero profundizar y ampliar la información antes resumida, centrándome en unos aspectos concretos, lo que pretendo transmitirles sistematizado como sigue:

1. Significado de las micorrizas en el origen, evolución y desarrollo de las plantas.
2. Causas del cambio global y sus interrelaciones con el manejo de los sistemas suelo-planta.
3. Manejo de las micorrizas como estrategia de gestión adaptativa para mitigar, contrarrestar y/o evitar los impactos negativos del cambio climático sobre los sistemas suelo-planta

### ***1. Significado de las micorrizas en el origen, evolución y desarrollo de las plantas***

Como indiqué anteriormente, salvo escasas excepciones, todas las plantas son susceptibles de formar micorrizas, y así ocurre de forma natural o inducida. Aunque con una función eco-fisiológica similar, existen varios tipos de micorrizas que responden a modelos estructurales diferentes. Concretamente, se reconocen tres tipos básicos: (a) las **ectomicorrizas**, propias de plantas forestales, que incluyen pinos, hayas, encinas, alcornoques, robles, cedros, castaños, abedules, pinsapos, avellanos, etc. El hongo responsable es una seta o es una trufa, en muchos casos comestibles, bien apreciados como tales; (b) las **endomicorrizas**, en las que se incluyen las que forman las orquídeas y las arbusculares, que como indiqué anteriormente, es el tipo de micorriza más extendido en la Naturaleza. Las micorrizas arbusculares son características de las plantas de interés

agronómico, sean cultivos agrícolas o frutícolas, así como de las forrajeras y pastizales, y también de arbustos y herbáceas de los ecosistemas naturales, entre ellos los Mediterráneos, de tanta importancia para nosotros. Como ya cité, el hongo implicado es microscópico, lo que no les dije, y lo hago ahora, es que las micorrizas arbusculares se consideran la simbiosis microbio-planta más antigua del Planeta. Finalmente, (c) tenemos las **ectendomicorrizas**, propias de plantas arbustivas en ecosistemas varios en las que el hongo es una seta o es una trufa (2).

Las micorrizas arbusculares, en adelante “micorrizas”, serán las protagonistas de este discurso. Son mi especialidad como científico por la implicación de un microorganismo en la simbiosis, y ser yo microbiólogo de profesión y vocación. En resumen, y como esbocé anteriormente, se ha demostrado que las micorrizas realizan importantes acciones en los sistemas suelo-planta (2, 3, 4, 13, 14). Fundamentalmente: (a) mejoran el enraizamiento de las plantas; (b) incrementan el suministro de nutrientes y agua a las mismas; (c) mejoran la estructura del suelo, ya que favorecen la formación de agregados hidroestables de partículas de suelo; (d) protegen a la planta frente a estreses bióticos (patógenos) y abióticos (salinidad, sequía, contaminación, etc.); y (e) favorecen la estabilidad y diversidad de las comunidades de plantas, y la sucesión vegetal.

Hoy día se reconoce que microbios y micorrizas fueron elementos fundamentales en el origen, evolución y desarrollo de las plantas en el Planeta. Concretamente, se acepta que el organismo vivo más antiguo de la Tierra es una cianobacteria, microbio capaz de fijar  $N_2$  y  $CO_2$ , actividad que ejercieron ya en la atmósfera primitiva, así como de liberar  $O_2$  a la misma. Estas bacterias, encontradas en registros fósiles datados en 3.500 millones de años, proporcionaron al primitivo “suelo” dos de los principales nutrientes como son el N y el C, lo que garantizaría su disponibilidad para las futuras “primeras plantas” (15).

El primer fósil de una “planta”, un briofito, es decir un musgo, bautizado con el nombre de *Cooksonia*, está datado en unos 420 millones de años, es decir, surgió entre los periodos Silúrico y Devónico. Este fósil se descubrió a principios del siglo XX, junto con otros fósiles de plantas, en un yacimiento paleontológico conocido como “Rhynie Chert”, localizado cerca de Rhynie, un pueblo de Escocia al noroeste de la ciudad de Aberdeen. Además de plantas y fragmentos de sus componentes y tejidos, los fósiles de Rhynie incluyen hongos, algas y líquenes, que han sido fundamentales para comprender las primeras etapas de colonización del medio terrestre por las plantas. Los trabajos de Kidston y Lang (16), pusieron de manifiesto que en esos registros fósiles las plantas presentan en sus primitivas raíces unas estructuras similares a las de las actuales micorrizas. Es decir, estos fósiles son

testigos de la presencia de microorganismos que hoy conocemos como “hongos micorrícicos arbusculares” que colonizaban, primero los rizomas, y después las raíces, de las primitivas plantas. Por ello, se puede afirmar que las plantas y los hongos micorrícicos tienen una historia evolutiva común que se inició hace más de 420 millones de años, y que persiste en nuestros días (17, 18).

Sin embargo, la historia de estos hongos comienza antes de la emergencia de los briofitos. De un lado, Redecker y colaboradores (19) encontraron esporas fósiles de estos hongos datadas en unos 450 millones de años, o sea, que proceden del Ordovícico. Como indican los registros fósiles (18), se acepta que estas esporas pudieron asociarse con algas fotosintéticas ancestrales, quizás de forma parasítica inicialmente, que evolucionaría a saprófita y después a mutualista, durante el transcurso evolutivo del alga hacia briofito. Estas observaciones de tipo morfológico se han confirmado posteriormente mediante técnicas de biología molecular que han permitido definir el origen y desarrollo filogenético de los hongos micorrícicos, y corroborar para ellos una antigüedad de más de 500 millones de años (20, 21, 22).

Dado el significado hoy demostrado de las micorrizas y su presencia en las plantas que colonizaron la Tierra, a las primitivas micorrizas se les adjudica un papel crítico en la captación de agua, P y otros nutrientes que suministrarían a aquellos primitivos vegetales, actividades fundamentales para el progreso de la evolución de las plantas y su adaptación al medio terrestre (23), lo que se conoce como terrestrialización de las plantas. En conclusión, se puede postular que las micorrizas, que ayudaron a las plantas a prosperar en un ambiente tan hostil, previo a su origen y durante su evolución, siguen desempeñando actualmente ese papel de ayuda a las plantas para que puedan vivir y prosperar en ambientes sometidos a situaciones de estrés.

La co-evolución de micorrizas y plantas, que explica la universalidad de la simbiosis, ha dado lugar a un profundo nivel de interdependencias entre hongos y plantas (24). De un lado, los hongos arbusculares dependen de la planta para completar su ciclo de vida, por lo que se les considera simbiontes obligados. De otro, se sabe que las plantas no pueden desarrollarse de forma óptima cuando no tienen ocasión de micorrizarse adecuadamente, como ocurre en hábitats estresados, en los que la disponibilidad en propágulos micorrícicos es baja. Tal es el caso de los ecosistemas degradados, particularmente en los desertificados, o cuando las prácticas agronómicas son intensivas e incluyen un uso excesivo de agroquímicos.

## ***2. Causas del cambio global y sus interrelaciones con el manejo de los sistemas suelo-planta***

Debo reconocer para empezar que estoy lejos de ser un especialista tanto en “cambio global” como en sus derivados, es decir, “calentamiento global”, “cambio climático”, etc. Es más, siento algo de pudor por mi atrevimiento al hablar de estas temáticas sin poseer el bagaje de conocimientos necesarios para hacerlo con propiedad. Ruego sus disculpas. Obviamente, tampoco pretendo, ni podría, polemizar sobre estos temas, en parte controvertidos, al menos en lo que concierne a la intensidad y magnitud de su inminencia, incidencia y transcendencia. Sí que me manifiesto al decirles que creo, como la mayoría de nuestros congéneres, que es una situación muy preocupante. *"Es ridículo dudar de que la Tierra se calienta; ningún científico lo hace"*, leí hace unos días en medios de difusión fiables.

Son muy limitados los conceptos que he aprendido sobre cambio global. Sin embargo, esas breves nociones, que les voy a resumir a continuación, me han permitido conectar, y por eso he procurado aprenderlas, con algo de lo que si se un poco más. Es decir, evidenciar como un manejo inapropiado de los sistemas suelo-planta coopera al cambio global y, viceversa, como el manejo adecuado de dichos sistemas puede contribuir a paliar los efectos negativos del mismo.

El término “cambio global” define al conjunto de cambios en el medio ambiente que, *originados por la actividad humana*, afectan a los procesos que determinan el funcionamiento del sistema Tierra (7, 8). Se reconoce, por tanto, que es el hombre el responsable primario y desencadenante del cambio global. En efecto, el crecimiento de la población humana producido en las últimas décadas, particularmente en los países en vías de desarrollo, demandaba un incremento de los recursos para satisfacer las necesidades de alimentos, energía y espacio. Ante esta demanda, el ser humano optó por desarrollar un tipo de actividades que, a la larga, están transformando nuestro entorno y el de otras especies del Planeta. Como indiqué con anterioridad, entre las consecuencias más influyentes del cambio global destacan el cambio climático y la pérdida de biodiversidad, que puede llevar incluso a la extinción de especies (25). Me extiendo algo más sobre esos conceptos.

Cambio climático es la manera en que el cambio global transforma la atmósfera y el clima y que se manifiesta por un calentamiento global del Planeta. En este punto, hay que distinguir entre lo que podríamos denominar cambio climático “general” y cambio climático “actual”. El cambio climático general se refiere a cambios en el clima que vienen ocurriendo

a lo largo de la historia de la Tierra, cambios contrastados estadísticamente para periodos que van desde décadas a millones de años, mientras que el cambio climático actual se refiere a las consecuencias del impacto desmedido de la actividad humana sobre el sistema climático global, en cuyo escenario nos encontramos hoy inmersos. El cambio climático actual es por tanto una consecuencia del cambio global que sufre el Planeta en la actualidad. Concretamente, se sabe que el cambio climático actual ocurre por un incremento en los niveles CO<sub>2</sub>, y otros gases en la atmósfera, debido a las emisiones procedentes de la combustión de hidrocarburos fósiles, desarrollos industriales, deforestación, etc., actividades todas desencadenadas por el hombre (7).

Como puntualizan Duarte y colaboradores (7), desde el punto de vista semántico no es correcto decir “cambio”, porque para que lo sea, su antónimo, es decir “constancia”, debe ser cierto, pero no lo es, ya que nunca existió una “constancia” en la historia climática ni evolutiva del Planeta. Las dos características del cambio global actual que hacen que los cambios ambientales asociados sean únicos en la historia de la Tierra son, primero la rapidez con que se producen los cambios; y segundo el hecho de que solo hay una especie biológica responsable: el *Homo sapiens*. Es por ello que haya propuesto, consecuente, una nueva era geológica para referirse a la etapa actual del planeta Tierra: el *Antropoceno*. De acuerdo con esos conceptos, para Duarte y colaboradores (7), “las claves del cambio global en el Antropoceno se han de buscar en la conjunción de dos fenómenos relacionados: el rápido crecimiento de la población humana y el incremento, apoyado en el desarrollo tecnológico, del consumo de recursos per cápita por la humanidad”.

Vamos a aceptar, y parece que es así, que La Tierra es el único Planeta “vivo” en el sistema Solar. Es decir, nuestro Planeta es una isla de vida en medio del espacio vacío. Las condiciones de habitabilidad son perfectas. No le falta aire ni agua y el Sol proporciona la luz y el calor necesarios. La temperatura de nuestro planeta es perfecta para la vida. Ni demasiado fría, como Venus, ni demasiado caliente, como Marte (26). Esta bonanza se debe a la existencia de dos escudos protectores de la vida en el Planeta. Uno de ellos es la “capa de ozono”, que se produce mediante reacción del oxígeno y los rayos ultravioleta, y que es para los seres vivos como un paraguas protector frente a los dañinos rayos ultravioleta; y el otro escudo es la capa de gases de “efecto invernadero”, fenómeno natural imprescindible para la vida ya que de no existir la temperatura de la Tierra disminuiría unos 33°C (8, 26).

Es bien sabido que el “efecto invernadero” se produce porque parte de la energía del Sol que recibe la Tierra se devuelve como energía infra-roja. Los “gases invernadero” absorben y retienen parte de esta energía infrarroja y así se calienta ordenadamente la

superficie de la Tierra y el aire que la rodea. No obstante, la contaminación ambiental y la deforestación, inducidas por el hombre, hacen o bien que se produzcan más cantidad de gases “efecto invernadero”, particularmente CO<sub>2</sub>, de la que era necesaria, o bien que se retenga menos CO<sub>2</sub>, ya que la desforestación elimina a los árboles, los grandes foto-sintetizadores, por tanto “esponjas” de CO<sub>2</sub>. Es por ese incremento en las emisiones de CO<sub>2</sub> que ocurre un incremento en el tamaño de esa capa de gases y, consecuentemente, una mayor retención de radiación. Así es como sube la temperatura de la Tierra, provocando el calentamiento global y el cambio climático (8, 26). Los gases de efecto invernadero son bien conocidos y definidos: vapor de agua (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), y clorofluorocarburos (material liberado en aerosoles y refrigerantes). Noticia muy preocupante es que, según una estimación realizada por la Agencia Internacional de la Energía (27), las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera aumentaron durante 2010 hasta niveles récord, lo que disipa las esperanzas de controlar el calentamiento global, por ahora.

Las acciones de origen antropológico sobre los sistemas suelo-planta que cooperan al cambio climático global están bien determinadas, y algunas ya citadas en este discurso. Entre otras, tenemos: la agricultura intensiva, la pérdida y degradación de hábitats, la deforestación provocada por talas, los incendios, la erosión del suelo, la fragmentación de hábitats, el sobrepastoreo, la contaminación ambiental, la introducción de especies exóticas, el abandono de paisajes culturales, etc. (8, 25) Concretamente, la agricultura intensiva es una actividad generadora de cambio global ya que la aplicación de dosis elevadas de fertilizantes químicos y productos fitosanitarios degrada los agro-sistemas e inducen perturbaciones y desequilibrios en los mismos, lo que conduce a una espiral de estreses bióticos y abióticos en los agro-sistemas.

Ciencia y Sociedad están tratando de luchar frente a los impactos negativos del cambio climático, pero se hace urgente una inversión Pública y Privada palpable y generosa para conseguir esos fines. Más que nunca la sentencia de nuestro admirado poeta andaluz Antonio Machado, cuando dijo “*Es de necio confundir valor y precio*”, se hace más perentoria. La Ciencia, en efecto, trata de luchar, mediante el uso de biotecnologías que coadyuvan al manejo adecuado de los sistema suelo-planta, y propone: (a) reducir emisiones de CO<sub>2</sub> y cooperar a su secuestro, lo que se denomina mitigar; (b) manejar los agro-sistemas por técnicas respetuosas con el medio ambiente, es decir, evitar; y (c) reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas y conservar la biodiversidad, hablamos entonces de contrarrestar (8).

Con respecto a los sistemas agrícolas, una de las medidas fundamentales es practicar una agricultura sostenible, técnica basada en una forma de cultivar que permite conservar por largo tiempo la fertilidad del suelo, con el mínimo gasto de energía y recursos no renovables. En sistemas sostenibles se modifican las estrategias de cultivo clásicas de forma que se reduce el uso de fertilizantes y fitofármacos (28). Para lograr desarrollos sostenibles en agro-sistemas, así como la conservación de ecosistemas (naturales) se propuso la utilización de la microbiota del suelo para reciclar los nutrientes y la materia orgánica, y favorecer la salud de las plantas y la calidad del suelo (29, 30, 31, 32, 33, 34). La agricultura ecológica (y sostenible), es decir la agroecología, es la base fundamental del desarrollo sostenible, práctica recomendable para garantizar el suministro de alimento y fibra a las generaciones venideras (35). Hablar de “agroecología” en España es hablar de nuestra “Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE)”, cuyas actividades preconizan la utilización de tales aproximaciones metodológicas.

En el contexto general de la agroecología y del manejo sostenible de las comunidades de plantas en ecosistemas naturales, incluyendo masas forestales arbóreas y arbustivas, sotobosques, pastizales y ejemplares amenazados de nuestra flora, se postuló la utilización de las micorrizas como herramienta clave para llevar a buen término tales desarrollos sostenibles (36, 37). Para sustentar tal propuesta, en la tercera y última parte de mi intervención trataré de explicarles lo que ha hecho la Ciencia, y lo que está haciendo, para aprovechar el potencial de las micorrizas en la lucha contra el cambio climático.

### ***3. Manejo de las micorrizas como una estrategia de gestión adaptativa para mitigar, contrarrestar y/o evitar los impactos negativos del cambio climático sobre los sistemas suelo-planta***

Una vez demostrados los efectos beneficiosos de las micorrizas sobre el desarrollo, salud y productividad de los sistemas suelo-planta, las investigaciones se dirigieron hacia tres objetivos fundamentales. En primer lugar, establecer los mecanismos ecológicos, fisiológicos y moleculares implicados en las actividades beneficiosas de las micorrizas. La Ciencia ha proporcionado avances decisivos en tales conocimientos (38). En segundo lugar, las investigaciones han ido orientadas a la búsqueda de los factores agronómicos y eco-fisiológicos que pueden influenciar el funcionamiento correcto de la simbiosis en condiciones naturales (3). Finalmente, los estudios se han polarizado a propiciar avances científico-técnicos con vistas a optimizar la aplicación práctica de las micorrizas. En este sentido, de un lado, se ha progresado en estudiar la diversidad de hongos micorrícicos en agro- y eco-

sistemas, y de otro, se han promovido desarrollos biotecnológicos que han permitido obtener productos formulados (inóculos para aplicar a las plantas) a base de hongos micorrícicos procedentes de la diversidad natural del agro-ecosistema “diana”. Con respecto al análisis de la diversidad de hongos se han aplicado técnicas morfológicas y moleculares para caracterizar e identificar los hongos (39, 40, 41, 42, 43), y en cuanto a la producción de inóculos las investigaciones *ad hoc* han permitido formular y llevar estos productos al mercado (5, 44, 45, 46, 47, 48). Una premisa comúnmente aceptada es que los hongos micorrícicos, base de los inóculos, deben ser seleccionados previamente por su capacidad de adaptación y compatibilidad funcional con el sistema suelo-planta objeto de trabajo, condiciones *sine qua non* para propiciar su eficacia. La idea es disponer de las herramientas pertinentes para conseguir el manejo racional de las micorrizas, bien sea en agro-ecología o en programas de revegetación orientados a recuperar espacios naturales degradados, o a proteger la flora amenazada (49, 50, 51, 52, 53). Es decir para poder explotar el potencial micorrícico y contribuir a mitigar, contrarrestar y/o evitar los impactos negativos del cambio climático sobre los sistemas suelo-planta.

Dado que las micorrizas potencian el suministro de P, N y otros nutrientes a las plantas, los inóculos de micorrizas se utilizan como biofertilizantes para los cultivos en suelos pobres en nutrientes asimilables por las plantas. Se trata consiguientemente de reducir al máximo el uso de la dosis de fertilizantes químicos a aplicar, pero manteniendo la productividad agrícola mediante la biofertilización basada en el uso de las micorrizas (54, 55, 56). Es obvio que dichas aplicaciones biotecnológicas conllevan ventajas ecológicas y económicas encomiables derivadas del ahorro en el uso de fertilizantes químicos, contaminantes a la larga de los agroecosistemas (6, 57). Es de destacar que la actividad biofertilizante de las micorrizas se ha logrado potenciar mediante la co-inoculación de los hongos micorrícicos con determinadas rizobacterias (58, 59, 60, 61). Tal es el caso de aquellas bacterias reconocidas por sus capacidades para fijar N de la atmósfera y/o para promover la disponibilidad de P en el suelo transformándolo en iones fosfato asimilable por las plantas (1, 31, 34, 62, 63). A las micorrizas se les considera, además, una herramienta biotecnológica que se aplica en beneficio de la industria viverista, ya que permite producir plantas de calidad, en ausencia, o con aportes mínimos de fertilizantes químicos (60). Es evidente que ello también representa un beneficio ecológico para los agrosistemas y económico para el agricultor y el productor viverista.

Como se esbozó anteriormente, una realidad preocupante, y bien definida, es el hecho de que, como consecuencia del cambio global, la estabilidad de los agro-sistemas resulta



afectada por la incidencia de diversos tipos de estrés. Entre ellos: sequía, temperaturas extremas, contaminación, enfermedades, plagas, plantas parásitas o invasoras, etc. Ante esta situación, las micorrizas se postulan como un “seguro de vida” para las plantas ya que les ayudan a hacer frente a esas dificultades. En efecto, las micorrizas son reconocidas por su capacidad para potenciar la resiliencia de las plantas frente a dichos estreses. En este punto recordemos que resiliencia es “el coraje para recuperarse” de una agresión (37).

En efecto, en diversos estudios se ha demostrado que las micorrizas juegan un papel importante ayudando a la planta a captar agua e incrementar su resistencia a salinidad, sequía y temperaturas extremas, lo que se denomina en su conjunto “estreses osmóticos” (64, 65). Particularmente, en el Sudeste Ibérico, paradigma de agro-ecosistemas áridos y semi-áridos, así como en sus saladares y dunas, se ha evidenciado ese efecto beneficioso de las micorrizas, tanto cuando se forman de manera natural, como dirigida, mediante inoculación con hongos adaptados a esos ambientes. Sobre la mesa del científico especializado se prioriza actualmente investigar los mecanismos fisiológicos y moleculares implicados, tanto en los efectos de la simbiosis como en los de adaptación de los hongos a dichos estreses abióticos (64, 65). En esencia, se investiga para sentar las bases conducentes a la aplicación optimizada de las micorrizas.

En cuanto a otros tipos de estreses de tipo abiótico que agreden a nuestros agro-ecosistemas hay que considerar la contaminación con metales pesados, compuestos orgánicos difícilmente degradables y otros xenobióticos. La investigación científica ha puesto de manifiesto que las micorrizas desempeñan un papel importante en la llamada fito-remediación de suelos contaminados (66, 67). De un lado, las micorrizas favorecen el establecimiento y desarrollo de las plantas, lo que denominamos fito-estabilización, rindiéndolas más tolerantes a dichos contaminantes. La co-inoculación de hongos micorrícicos y rizobacterias adaptados a metales pesados, inoculados a plantas también adaptadas a esos contaminantes, facilita la extracción por la planta (fito-extracción) de tales metales de los suelos problema (66, 67, 68). Igualmente, se investigan los mecanismos fisiológicos y moleculares implicados. En suma, los desarrollos biotecnológicos citados han permitido incrementar la capacidad de tolerancia de las plantas a contaminantes por lo que contribuyen a la bio-remediación de suelos contaminados (38).

Además de los estreses abióticos antes mencionados, los cultivos agrícolas sufren la agresión de otro tipo de estreses, como son los provocados por seres vivos. Son los llamados estreses bióticos. Entre ellos, se incluyen el ataque de hongos, bacterias, virus, nematodos; causantes de enfermedades, y de insectos; causantes de plagas. Igualmente, hay que

considerar como un estrés biótico la presencia no deseada de plantas parásitas, invasoras, etc. También son estos estreses consecuencia de las prácticas no sostenibles que conlleva la llamada agricultura intensiva (37).

En este contexto, una de las facetas de la investigación/aplicación de las micorrizas más atractiva es la relacionada con sus implicaciones en la protección de las plantas frente al ataque de organismos patógenos (69). En este contexto hay que apuntar que hace algún tiempo se había acuñado el término “agente de control biológico” para denominar a ciertas bacterias y hongos, etc. que atacan a los patógenos de las plantas y así protegerlas de dichos agresores. Una vez evidenciado que las micorrizas son capaces de proteger a las plantas frente al ataque de patógenos, surgió una pregunta obvia: ¿son las micorrizas agentes de control biológico? La respuesta es, ¡no exactamente! Las micorrizas no producen compuestos antimicrobianos, típico del agente de control biológico. Lo que sí hacen es inducir mecanismos de defensa de la planta que las rinde más resistentes para tolerar mejor el ataque de patógenos. Se propuso en este sentido el concepto/acción “Resistencia Inducida por Micorrizas”, conocido en la literatura científica con el acrónimo, en inglés, MIR (70). Inicialmente se demostró una suerte de protección, en términos de reducción de la incidencia y/o de los daños, producidos por hongos, bacterias, nemátodos e insectos patógenos que infestan por la raíz. Posteriormente, se evidenció la existencia y efectividad de MIR frente a determinados insectos patógenos de la parte aérea de la planta. Los mecanismos moleculares implicados en la Inducción de Resistencia Sistémica frente a patógenos por micorrizas están siendo esclarecidos y definidos. Se asientan, en esencia, en una cascada de fenómenos de inducción/represión provocada por la expresión de hormonas-señal cuyo resultado es adecuar/potenciar las defensas de la planta para responder al patógeno atacante. En suma, se trata de una especie de “vacunación” de la planta, es decir, un nuevo modelo de inmunización, no reconocida previamente en vegetales (70).

Esta actividad de las micorrizas representa claramente un escenario de investigación básica de sumo interés. Sin embargo, las expectativas al respecto hay que vislumbrarlas desde el punto de vista práctico. En efecto, este papel bio-potenciador o bio-protector de las micorrizas conlleva a una disminución del uso de agroquímicos (fitofármacos), con sus consiguientes ventajas agro-ecológicas. Actividad fundamental en el contexto de lucha frente al cambio climático, y que lleva aparejado un apreciable ahorro económico.

Para terminar con estos aspectos del impacto de las micorrizas en agroecología, hay que mencionar su impacto, recientemente descrito, sobre el control de plantas parásitas e invasoras, las llamadas “malas hierbas”. Se sabe que las plantas cultivadas exudan por sus

raíces metabolitos secundarios, entre ellos las denominadas estrigolactonas, los cuales son estimulantes de la germinación de semillas de plantas parásitas. Paralelamente, se ha demostrado que las micorrizas reducen la producción de estrigolactonas por las plantas. Al haber menos de esos metabolitos disponibles a parásitas asociadas a plantas micorrizadas, se reduce la germinación de las plantas parásitas, lo que reivindica a las micorrizas como agentes de biocontrol de dichas malas hierbas (71).

El papel de las micorrizas cobra un protagonismo destacado en el caso de los estreses inducidos por actividad humana que afectan la calidad/productividad de los ecosistemas naturales. Estos incluyen: la deforestación, ya sea por talas o incendios, el sobre-pastoreo, la degradación de la cubierta vegetal y erosión del suelo, etc. (25). Concretamente, las investigaciones desarrolladas sobre micorrizas y restauración de áreas degradadas en suelos áridos y pobres en nutrientes en los ecosistemas Mediterráneos del sudeste ibérico han proporcionado evidencias muy alentadoras (12, 72, 73). Así, en diversos experimentos llevados a cabo en áreas degradadas en las provincias de Granada, Almería y Murcia, el que les habla y sus colaboradores han comprobado que la micorrización beneficia el establecimiento, el crecimiento y la adquisición de nutrientes por las plantas. Así mismo, la inoculación dirigida mejora las propiedades bioquímicas y físico-químicas del suelo, concretamente, la producción de enzimas del ciclo del C, N y P, lo que incrementa la cantidad de nutrientes en el suelo disponibles para la planta. Finalmente, se demostró que el trasplante de planta autóctona con micorrización optimizada mejora la estructura del suelo, manifestada por el incremento de agregados hidro-estables, contenido de materia orgánica, etc. Esto nos está demostrando que la micorrización dirigida, utilizando hongos autóctonos, es una herramienta fundamental para mejorar el funcionamiento de los ecosistemas, así como la calidad, diversidad y extensión de la cobertura vegetal (12, 53, 73).

Es un hecho reconocido y aceptado que la micorrización ayuda a incrementar la biomasa de planta forestal. Ello contribuye indudablemente a fomentar la captura de CO<sub>2</sub>, vía fotosíntesis, tan fundamental para mitigar los impactos negativos del calentamiento global. Igualmente, el micelio fúngico de la micorriza actúa como sumidero de CO<sub>2</sub> (74).

En resumen, se puede concluir diciendo que las micorrizas benefician los agro-ecosistemas por ser: (a) protagonistas fundamentales en agro-ecología (biofertilizantes); (b) agentes antiestrés en agro-sistemas sostenibles, ya que mejoran la resiliencia de la planta y de la comunidad frente a los impactos negativos del cambio climático; (c) agentes fundamentales para la producción forestal sostenible. En suma, por cooperar a mitigar emisiones de CO<sub>2</sub>, fundamentalmente, favoreciendo su secuestro.

En otro orden de cosas, aunque dentro del contexto general de la temática que nos ocupa, un hecho reseñable es el reconocimiento de la importancia de la biodiversidad como epicentro del trinomio de interacciones Funcionamiento de los Ecosistemas- Biodiversidad- Cambio global. En este sentido se ha prestado especial interés al significado e impacto de las micorrizas en la conservación de la diversidad de plantas, con particular referencia a los enclaves de singular valor ecológico.

Se conoce que en el planeta Tierra viven unas 250.000 especies de plantas, 30.000 de ellas en Europa y 7.500 en España. Sin embargo, esas cifras globales quedan matizadas si consideramos que un 44% de las especies de plantas de la Tierra viven concentradas en 34 Centros de Biodiversidad, que solo ocupan un 1,4% de la superficie del Planeta (75).

Uno de dichos Centros de Biodiversidad es la Cuenca Mediterránea, donde viven 25.000 especies de plantas. Concretamente, en el Espacio Natural Protegido, Parque Natural y Nacional “Sierra Nevada”, vive un 7% de las de la Cuenca Mediterránea, lo que representa, a su vez, el 30 % de las especies de plantas de España. De esos datos porcentuales se deduce la realidad contrastada por nuestros botánicos: en Sierra Nevada viven 2.100 especies de plantas, de las cuales, 80 son endemismos (76). Es por ello, entre otras razones, que el Comité MAB (Hombre y Biosfera) de la UNESCO declaró en 1986 a Sierra Nevada “Reserva de la Biosfera”. Lamentablemente una parte representativa de la flora de Sierra Nevada está catalogada con la poco deseada “etiqueta” de “flora amenazada”. Dicha amenaza puede ser debida a causas naturales, presión ganadera, recolección ilegal, incendios, actividades recreativas, turismo etc. En cualquier caso, hay que reconocer que las plantas en ciertas áreas de Sierra Nevada encuentran dificultades para reproducirse *in situ*. Sea cual sea la causa, se reconocen en Sierra Nevada 123 especies de plantas amenazadas, de ellas, 43 son endémicas y de estas, 12 están en “peligro crítico” de extinción (76).

En el Grupo “Micorrizas” de la Estación Experimental del Zaidín-CSIC postulamos que las micorrizas son claves para la conservación y restauración de la flora amenazada. Se abordaron proyectos de investigación que han permitido establecer un banco de germoplasma de hongos micorrícicos autóctonos, componentes de la diversidad de hongos micorrícicos asociados a las plantas, catalogados por especie de planta y por las características edafoclimáticas que marca la altitud de Sierra Nevada donde viven esas especies (77). Así mismo, se han iniciado experimentos en condiciones controladas para verificar los efectos de la micorrización de plantas amenazadas con los hongos seleccionados para proceder a su implantación con garantía de éxito en Sierra Nevada.

Como conclusión general de este discurso, defendemos pues que la micorrización dirigida es una estrategia de gestión adaptativa para potenciar la resiliencia de las plantas y del suelo, y para proteger la diversidad de las plantas en un escenario de cambio climático global. Así mismo, podemos afirmar que las micorrizas ejercen un protagonismo destacable en el manejo sostenible de los cultivos agrícolas y de las masas forestales, para, de un lado, propiciar la producción de alimentos saludables, y de otro, favorecer la estabilidad y la productividad de los ecosistemas.

En cualquier caso, para conseguir los máximos beneficios del manejo de las micorrizas con vistas a contribuir a mitigar, contrarrestar y/o evitar los impactos negativos del cambio climático sobre los sistemas suelo-planta, queda mucho camino por andar, y en ello estará nuestro empeño. Como dijo uno de los más grandes poetas de España, Lope de Vega, *"en la senda del vivir, no ir adelante es ir atrás, y el que a arar empieza, no ha de volver la cabeza, sino arar y caminar"*.

No quiero terminar mi discurso sin agradecer otra dadiva que me ha regalado la diosa fortuna. El crecer con mi padre Eloy, Maestro de Escuela, y mi madre M<sup>a</sup> Luisa, ama de casa en una de agricultores de la Vega de Granada, con una familia excelente, como también lo es la que tengo ahora con mi mujer, hijos, nietos y hermanos. Y un regalo más: mis amigos y compañeros, muchos de ellos hoy me acompañan. Evidentemente, al decir amigos no solo me refiero a los que tenía hasta el día de hoy, sino que también, y muy especialmente, a los que hoy empiezo a considerar como tales, mis compañeros Académicos. Amigos que acabo de encontrar, a los que espero no defraudar ni en lo personal ni en lo académico.

Muchas gracias

## Bibliografía

1. Ramos, A., Barea J.M., & Callao, V. (1966). Liberación de fósforo a partir de la fosforita por bacterias que actúan sobre los fosfatos. *Ars. Pharm.* 7:251-255.
2. Smith, S.E., & Read, D.J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis*. 3<sup>rd</sup> Ed. Elsevier, New York.
3. Barea, J.M., Ferrol, N., Azcón-Aguilar, C., & Azcón, R. (2008). Mycorrhizal symbioses. En: White, P.J., Hammond, J.P. (eds) *The Ecophysiology of Plant-Phosphorus Interactions. Series: Plant Ecophysiology*. vol 7. Springer, Dordrecht, pp. 143-163.
4. Jeffries, P., Gianinazzi, S., Perotto, S., Turnau, K., & Barea, J.M. (2003). The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biol. Fertil. Soils* 37:1-16.
5. Baar, J. From production to application of arbuscular mycorrhizal fungi in agricultural systems: requirements and needs. (2008). En: Varma, A. (ed) *Mycorrhiza: State of the Art, Genetics and Molecular Biology, Eco-Function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics*. 3<sup>rd</sup> Ed. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany, pp. 361-373.
6. Gianinazzi, G., Gollotte, A., Binet, M.-N., van Tuinen, D., Re, D., & Wipf, D. (2010). Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza* 20:519-530.
7. Duarte, C.M., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Fernández Ríos, A.A., Montes, C., Pardo, M., Simó, R., & Valladares, F. (2006). Cambio Global Impacto de la Actividad Humana sobre el Sistema Tierra. CSIC, Madrid.
8. Orcariz, J., Novo, M., Prats, F., Seoane, M., & Torrego, A. (2008). Cambio global España 2020's. El reto es actuar. Edit. Fundación Universidad Complutense & Fundación Conama.
9. Aspizua, R., Bonet, F., Zamora, R., Sánchez, F.J., Cano-Manuel, F.J., & Henares, I. (2010). El observatorio de cambio global de Sierra Nevada: hacia la gestión adaptativa de los espacios naturales. *Ecosistemas* 19:56-68.
10. Bonet, F.J., Pérez-Luque, A.J., Moreno, R., & Zamora, R. (2010). Observatorio de cambio global en Sierra Nevada. Estructura y contenidos básicos. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía-Universidad de Granada. 48 pp.
11. Estrategia andaluza de gestión integrada de la biodiversidad. Consejería de Medioambiente, Junta de Andalucía (2010).
12. Barea, J.M., Palenzuela, J., Cornejo, P., Sánchez-Castro, I., Navarro-Fernández, C., López-García, A., Estrada, B., Azcón, R., Ferrol, N., & Azcón-Aguilar, C. (2011). Ecological and functional roles of mycorrhizas in semi-arid ecosystems of Southeast Spain. *J. Arid Environ.* 75:1292-1301.

13. Rillig, M.C., & Mummey, D.L. (2006). Mycorrhizas and soil structure. *New Phytol.* 171:41-53.
14. Miller, R.M., & Jastrow, J.D. (2000). Mycorrhizal fungi influence soil structure. En: Kapulnik, Y., Douds, D.D. (eds) *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 3-18.
15. Awramik S.M. (1981). The pre-phanerozoic biosphere: Three billion years of crises and opportunities. En: Nitecki, M., Raup, D. (eds) *Biotic Crises in Ecological and Evolutionary Time*. Academic Press, New York, pp. 83-102.
16. Kidston, R., & Lang, W.H. (1917). On old red sandstone plants showing structure from the Rhynie chert bed, Aberdeenshire. Part I. *Rhynia gwynne-vaughanii*, Kidston and Lang. *Trans. Roy. Soc. Edinburgh* 5:761-784.
17. Honrubia, M. (2009). The Mycorrhizae: a plant-fungus relation that has existed for more than 400 million years. *Anal. Jardín Bot. Madrid* 66:133-144.
18. Bonfante, P. & Genre, A. (2008). Plants and arbuscular mycorrhizal fungi: An evolutionary-developmental perspective. *Trends in Plant Science*, 13, 492-498.
19. Redecker, D., Kodner, R., & Graham, L.E. (2000). Glomalean fungi from the Ordovician. *Science* 289:920-1921.
20. Parniske, M. (2008). Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nature Rev. Microbiol.* 6:763-775.
21. Schüßler, A., Gehrig, H., Schwarzott, D., & Walker, C. (2001). Analysis of partial *Glomales* SSU rRNA gene sequences: implications for primer design and phylogeny. *Mycol. Res.* 105:5-15.
22. Schüßler A, Walker C. (2011). Evolution of the 'plant-symbiotic' fungal phylum, *Glomeromycota*. En: *Evolution of fungi and fungal-like organisms*. Pöggeler, S., Wöstemeyer, J. (eds), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. pp. 163-185.
23. Remy, W., Taylor, T.N., Haas, H., & Kerp, H. (1994). Four hundred-million-year-old vesicular-arbuscular mycorrhizae. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 91:11841-11843.
24. Brundrett, M.C. (2002). Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. *New Phytol.* 154:275-304.
25. Sapiña, F. (2006). ¿Un Futuro Sostenible? El Cambio Global Visto por un Científico Preocupado. Universitat de Valencia.
26. Portal Planeta Sedna: Efecto invernadero, [www.portalplanetasedna.com.ar](http://www.portalplanetasedna.com.ar)
27. EFE - Londres - 30/05/2011. Las emisiones de CO<sub>2</sub> alcanzaron niveles récord en 2010 pese a la crisis.

28. Altieri, M.A. (1994). Sustainable Agriculture. *Enc. Agric. Sci.* 4: 239-247.
29. Atkinson, D. (2009). Soil microbial resources and agricultural policies. En: Azcón-Aguilar, C., Barea, J.M., Gianinazzi, S., Gianinazzi-Pearson, V. (eds) *Mycorrhizas Functional Processes and Ecological Impact*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 33-45.
30. Avis, T.J., Gravel, V., Antoun, H., & Tweddell, R.J. (2008). Multifaceted beneficial effects of rhizosphere microorganisms on plant health and productivity. *Soil Biol. Biochem.* 40:1733-1740.
31. Barea, J.M., & Olivares, J. (1998). Manejo de las propiedades biológicas del suelo. En: Jiménez Díaz, R.M., Lamo de Espinosa, J. (eds) *Agricultura Sostenible*. Editorial Mundi Prensa, Madrid, pp. 173-193.
32. Chaudhary, V.B., Bowker, M.A., O'Dell, T.E., Grace, J.B., Redman, A.E., Rillig, M.C., & Johnson, N.C. (2009). Untangling the biological contributions to soil stability in semiarid shrublands. *Ecol. Appl.* 19:110-122.
33. Kennedy, A.C., & Smith, K.L. (1995). Soil microbial diversity and the sustainability of agriculture soils. *Plant Soil* 170:75-86.
34. Richardson, A.E., Barea, J.M., McNeill, A.M., & Prigent-Combaret, C. (2009). Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant Soil* 321:305-339.
35. Altieri, M.A. Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Front. Ecol. Environ.* 2:35-42 (2004).
36. Bethlenfalvay, G.J., & Linderman, R.G. (1992). *Mycorrhizae in sustainable agriculture*. ASA Spec Publ, Madison, WI.
37. Jeffries, P., & Barea, J.M. (2012). Arbuscular mycorrhiza - a key component of sustainable plant-soil ecosystems. En: Hock, B. (ed) *The Mycota, vol IX. Fungal Associations*, 2<sup>nd</sup> edition. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg (en prensa).
38. Azcón-Aguilar, C., Barea, J.M., Gianinazzi, S., & Gianinazzi-Pearson, V. (2009). *Mycorrhizas Functional Processes and Ecological Impact*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
39. Alguacil, M.M., Roldán, A., & Torres, M.P. (2009). Assessing the diversity of AM fungi in arid gypsophilous plant communities. *Environ. Microbiol.* 11:2649-2659.
40. Gamper, H.A., van der Heijden, M.G.A., & Kowalchuk, G.A. (2010). Molecular trait indicators: moving beyond phylogeny in arbuscular mycorrhizal ecology. *New Phytol.* 185:67-82.



41. Hart, M., & Klironomos, J.N. (2002). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and ecosystem functioning. En: van der Heijden, M.G.A., Sanders, I.R. (eds) *Mycorrhizal Ecology*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 225-242.
42. Öpik, M., Saks, Ü., Kennedy, J., & Daniell, T. (2008). Global diversity patterns of arbuscular mycorrhizal fungi-community composition and links with functionality. En: Varma, A. (ed) *Mycorrhiza: State of the Art, Genetics and Molecular Biology, Eco-Function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics*. 3<sup>rd</sup> Ed. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany, pp. 89-111.
43. Palenzuela, J., Barea, J.M., Ferrol, N., Azcón-Aguilar, C., & Oehl, F. (2010). *Entrophospora nevadensis*, a new arbuscular mycorrhizal fungus from Sierra Nevada National Park (southeastern Spain). *Mycologia* 102:624-632.
44. Bago, A., & Cano, C. (2006). Application of arbuscular a mycorrhizal fungal *in vitro* biofertilizers in agro-industries. En: Mendez-Vilas, A. (ed) *Modern Multidisciplinary Applied Microbiology: Exploiting Microbes and their Interactions*. Wiley-VCH, EEUU, pp. 375-379.
45. Gianinazzi, S., & Vosátka, M. (2004). Inoculum of arbuscular mycorrhizal fungi for production systems: science meets business. *Can. J. Bot.* 82:1264-1271.
46. Ijdo, M., Cranenbrouck, S., & Declerk, S. (2011). Methods for large-scale production of AM fungi: past, present, and future. *Mycorrhiza* 21:1-16.
47. von Alten, H., Blal, B., Dodd, J.C., Feldman, F., & Vosátka, M. (2002). Quality control of arbuscular mycorrhizal fungi inoculum in Europe. En: Gianinazzi, S., Schüepp, H., Barea, J.M., Haselwandter, K. (eds) *Mycorrhiza Technology in Agriculture, from Genes to Bioproducts*. Birkhauser Verlag, Basel, Switzerland, pp. 281-296
48. Vosátka, M., Albrechtová, J., & Patten, R. (2008). The international marked development for mycorrhizal technology. En: Varma, A. (ed) *Mycorrhiza: State of the Art, Genetics and Molecular Biology, Eco-Function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics*. 3<sup>rd</sup> Ed. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany, pp. 419-438.
49. Barea, J.M., Palenzuela, J., Cornejo, P., Sánchez-Castro, I., Navarro, C., Quiñones, P.B., Azcón, R., Ferrol, N., & Azcón-Aguilar, C. (2007). Significado, diversidad e impacto de los hongos de las micorrizas arbusculares en ambientes mediterráneos. En: Barea-Azcón, J.M., Moleón, M., Travesí, R., Ballesteros, E., Luzón, J.M., Tierno, J.M. (eds) *Biodiversidad y Conservación de Fauna y Flora en Ambientes Mediterráneos*. Sociedad Granatense de Historia Natural, Granada, España, pp. 155-185.
50. Brito, I., Goss, M.J., de Carvalho, M., van Tuinen, D., & Antunes, P.M. (2008). Agronomic management of indigenous mycorrhizas. En: Varma, A. (ed) *Mycorrhiza: State of*

*the Art, Genetics and Molecular Biology, Eco-Function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics*. 3<sup>rd</sup> Ed. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany, pp. 375-402.

51. Estaún, V., Vicente, S., Calvet, C., Camprubí, A., & Busquets, M. (2007). Integration of arbuscular mycorrhiza inoculation in hydroseeding technology. Effects on plant growth and inter-species competition. *Land Degrad. Dev.* 18:621-630.

52. Koltai, H., Meir, D., Shlomo, E., Resnick, N., Ziv, O., Wininger, S., Ben-Dor, B., & Kapulnik, Y. (2008). Exploiting arbuscular mycorrhizal technology in different cropping systems under greenhouse conditions in semi-arid regions. En: Kubota, C., Kacira, M. (eds) Book series Acta Horticulturae *Proceedings of the International Workshop on Greenhouse Environmental Control and Crop Production in Semi-Arid Regions*. ISHS publishes, Tucson, AZ, USA, pp. 223-228.

53. Requena, N., Pérez-Solis, E., Azcón-Aguilar, C., Jeffries, P., & Barea, J.M. (2001). Management of indigenous plant-microbe symbioses aids restoration of desertified ecosystems. *Appl. Environ. Microbiol.* 67:495-498.

54. Barea, J.M. (2010). Mycorrhizas and agricultural fertility. En: González-Fontes, A., Gárate, A., Bonilla, I. (eds) *Agricultural Sciences: Topics in Modern Agriculture*. Stadium Press, Houston, Texas, USA, pp. 257-274.

55. Fitter, A.H., Helgason, T., & Hodge, A. (2011). Nutritional exchanges in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: Implications for sustainable agriculture. *Fungal Biol. Rev.* 25: 68-72.

56. Pelligrino, E., Bedini, S., Avio, L., Bonari, E., & Giovannetti, M. (2011). Field inoculation effectiveness of native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi in a Mediterranean agricultural soil. *Soil Biol. Biochem.* 43:367-376.

57. Bethlenfalvay, G.J., & Schüepp, H. (1994). Arbuscular mycorrhizas and agrosystem stability. En: Gianinazzi, S., Schüepp, H. (eds) *Impact of Arbuscular Mycorrhizas on Sustainable Agriculture and Natural Ecosystems*. Birkhäuser Verlag, Basel, Switzerland, pp. 117-131.

58. Azcón-Aguilar, C., Azcón, R., Barea, J. M. (1979). Endomycorrhizal fungi and *Rhizobium* as biological fertilizers for *Medicago sativa* in normal cultivation. *Nature* 279: 235-237.

59. Barea, J.M., Azcón, R., & Azcón-Aguilar, C. (2005). Interactions between mycorrhizal fungi and bacteria to improve plant nutrient cycling and soil structure. En: Buscot, F., Varma, A. (eds) *Microorganisms in Soils: Roles in Genesis and Functions*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 195-212.

60. Mallik, M.A.B., & Williams, R.D. (2008). Plant growth promoting rhizobacteria and mycorrhizal fungi in sustainable agriculture and forestry. En: Zeng, R.S., Mallik, A.U., Luo, S.M. (eds) *Allelopathy in Sustainable Agriculture and Forestry*. Springer, New York, pp. 321-345.
61. Zaidi, A., & Khan, M.S. (2007). Stimulatory effects of dual inoculation with phosphate solubilising microorganisms and arbuscular mycorrhizal fungus on chickpea. *Aust. J. Exp. Agric.* 47:1016-1022.
62. Azcón, R., Barea, J.M., Montoya, E., & Callao, V. (1971). Efectos de la inoculación conjunta de *B. megaterium* var. *phosphaticum* y *Rhizobium* sobre la nutrición de plantas de judía en cultivos arena-materia orgánica. *Cuad. C. Biol.* 1:25-29.
63. Jaizme-Vega, M.C., & Rodríguez-Romero, A.S. (2008). Soil microbiology and sustainable agricultural systems: Application of beneficial microorganisms in agroecosystems in the Canary Islands. *II International Conference on Soil and Compost ECO-BIOLOGY*. Puerto de la Cruz, Tenerife. 26-29 Noviembre.
64. Ruíz-Lozano, J.M. (2003). Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress. New perspectives for molecular studies. *Mycorrhiza* 13:309-317.
65. Ruíz-Lozano, J.M., Porcel, R., & Aroca, R. (2008). Evaluation of the possible participation of drought-induced genes in the enhanced tolerance of arbuscular mycorrhizal plants to water deficit. En: Varma, A. (ed) *Mycorrhiza: State of the Art, Genetics and Molecular Biology, Eco-Function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany, pp. 185-207.
66. Azcón, R., & Barea, J.M. (2010). Mycorrhizosphere interactions for legume improvement. En: Khan, M.S., Zaidi, A., Musarrat, J. (eds) *Microbes for Legume Improvement*. Springer, Vienna, pp. 237-271.
67. Turnau, K., Jurkiewicz, A., Língua, G., Barea, J.M., & Gianinazzi-Pearson, V. (2006). Role of arbuscular mycorrhiza and associated microorganisms in phytoremediation of heavy metal-polluted sites. En: Prasad, M.N.V., Sajwan, K.S., Naidu, R. (eds) *Trace Elements in the Environment. Biogeochemistry, Biotechnology and Bioremediation*. CRC/Taylor & Francis, Boca Raton, Florida, pp. 235-252.
68. Vivas, A., Biró, B., Ruíz-Lozano, J.M., Barea, J.M., & Azcón, R. (2006). Two bacterial strains isolated from a Zn-polluted soil enhance plant growth and mycorrhizal efficiency under Zn-toxicity. *Chemosphere* 62:1523-1533.
69. Barea, J.M., Pozo, M.J., Azcón, R., & Azcón-Aguilar, C. (2005). Microbial co-operation in the rhizosphere. *J. Exp. Bot.* 56:1761-1778.

70. Pozo, M.J., & Azcón-Aguilar, C. (2007). Unraveling mycorrhiza-induced resistance. *Curr. Opin. Plant Biol.* 10:393-398.
71. López-Ráez, J.A., Bouwmeester, H., & Pozo, M.J. (2012). Communication in the rhizosphere, a target for pest management. En: Lichtfouse, E. (ed) *Sustainable Agriculture Reviews*. Volume 8, Springer, pp 109-133.
72. Allen, M.F. (2007). Mycorrhizal fungi: Highways for water and nutrients in arid soils. *Vadose Zone J.* 6:291-297.
73. Caravaca, F., Barea, J.M., Palenzuela, J., Figuerola, D., Alguacil, M.M., & Roldán, A. (2003). Establishment of shrubs species in a degraded semiarid site after inoculation with native or allochthonous arbuscular mycorrhizal fungi. *Appl. Soil Ecol.* 22:103-111.
74. Zhu, Y.G., & Miller, R.M. (2003). Carbon cycling by arbuscular mycorrhizal fungi in soil-plant systems. *Trends Plant Sci.* 8:407-409
75. Myers, N., Mittermeier, RA, Mittermeier, CG., da Fonseca, GAB, Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature.* **403:853-858.**
76. Blanca, G., López, M.R., Lorite, J., Matínez, M.J., Molero, J., Quintas, S., Ruíz, M., Varo, M.A., & Vidal, S. (2002). *Flora Amenazada y Endémica de Sierra Nevada*. Granada. Editorial Universidad de Granada, Junta de Andalucía.
77. Azcón-Aguilar, C., Palenzuela, J., Ruíz-Girela, M., Ferrol, N., Azcón, R., Irurita, J.M., & Barea, J.M. (2010). Análisis de la diversidad de micorrizas y hongos micorrícicos asociados a especies de la flora amenazada del Parque Nacional de Sierra Nevada. En: Ramírez, L., Asensio, B. (eds) *Proyectos de Investigación en Parque Nacionales: 2006-2009. Naturaleza y Parques Nacionales Serie Investigación en la Red*. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Madrid, pp. 173-190.

**CONTESTACIÓN DEL  
EXCMO. SR. D. ALBERTO RAMOS COMERZANA**

**Excmo. Sr. Presidente  
Excmas. e Ilmas. Autoridades  
Excmos. e Ilmos. Académicos  
Sras. y Sres.**

Deseo expresar mi agradecimiento a la Academia de Ciencias Matemáticas, Físico-Químicas y Naturales de Granada por el enorme privilegio de contestar al discurso de ingreso del Ilmo. Sr. D. José Miguel Barea Navarro.

Junto al alto honor que representa contestar al nuevo académico, me parece fue ayer cuando empezamos nuestra carrera científica, en un mundo, para nosotros lleno de ilusiones. ¡Quién me iba a decir nos veríamos ante tan extraordinaria y emotiva situación!, tan llena de alegría, puede, eso sí, empañada, por el recuerdo de la ausencia de personas tan queridas y admiradas como nuestros profesores D. Vicente Callao Fabregat y D. Enrique Montoya Gómez, quienes en ese constante ribeteo de la vida, nos ilustraron con sus sabios consejos de ciencia y humanidad. Como muy bien ha dicho el Ilmo. Sr. José Miguel Barea Navarro, el discurrir de nuestras vidas, está jalonado por una sucesión de hitos de diverso origen, índole y repercusión. En su discurso, al destacar la importancia de las micorrizas en el origen,

evolución y desarrollo de las plantas en el Planeta, ha hecho posible volviera a recordar, como si de ayer se tratara, mi primera etapa formativa, al referirse a ese primer fósil musgo, bautizado con el nombre de *Cooksonia*, con 420 millones de años de antigüedad y descubierto a principios del siglo XX, en el yacimiento paleontológico de “Rhynie Chert”, cerca de Rhynie, pueblo de Escocia al noroeste de la ciudad de Aberdeen, pues fue precisamente en esa ciudad, donde realicé mi primer desplazamiento y estancia en el extranjero, más concretamente en el “Macaulay Institute for Soil Research”.

Quiero pedir disculpas a la presidencia y a esta extraordinaria audiencia, por lo que puedan ser, pequeños desvíos emocionales. El Prof. Barea, en su intervención, me ha hecho recordar, esa primera etapa llena de ilusiones en nuestra vida científica; cuando de alguna forma pretendíamos encontrar y desarrollar nuevos modelos de biofertilización del suelo, siendo los microorganismos solubilizadores de fosfatos los principales protagonistas de aquellos modelos, que buscábamos.

Realizar la laudatio del Prof de Investigación D. José Miguel Barea Navarro tiene, al menos para mí, una doble dificultad. En principio, lo que ciertamente parece sencillo, comentar un Curriculum vitae tan extraordinario, se transforme en un gran problema al pensar la facilidad que tenemos los humanos para omitir u olvidar alguna destacada referencia en relación a su personalidad y capacidad investigadora, de forma tan brillantemente desarrollada en el Dpto. de Microbiología del Suelo y Sistemas Simbióticos, de la Estación Experimental del Zaidín, del CSIC, de Granada; en segundo lugar porque es fácil pueda pensarse, que resalto en exceso su magnífica aportación al mundo de la ciencia, debido a su enorme bagaje curricular y por tratarse al mismo tiempo de un excelente amigo y compañero. Precisamente, por conocer a fondo su valiosa trayectoria científica temo carecer de la capacidad suficiente para trazar su semblanza y exponer en un breve período de tiempo los méritos que llevaron a nuestra Academia a designarlo como nuevo académico de número. Por los anteriores motivos aludidos de amistad me van a permitir no utilice protocolo alguno, para en adelante al referirme a su persona utilice sencillamente su nombre José Miguel.

Inicia su Formación Universitaria en la Facultad de Farmacia de la Universidad de Granada: finalizando sus estudios de licenciatura en 1965, con la calificación de Sobresaliente. Se doctora en 1968, con la máxima calificación de *Sobresaliente “cum laude”* y *“Premio Extraordinario”* del doctorado. Posteriormente se hace acreedor a los premios de Investigación de la Caja General de Ahorros de Granada en 1980 y al de Investigación Científica de la Academia de Ciencias Matemáticas, Físico-Químicas y Naturales de Granada en 1984.

Cuando dice fue “tocado por la fortuna” al incorporarse para hacer su Doctorado en la Estación Experimental del Zaidín, e iniciar y desarrollar una carrera científica en ese magnífico Instituto del CSIC, labor simultaneada con actividades docentes en las Facultades de Farmacia y Ciencias de la Universidad de Granada, refleja lo bien que realiza la labor encomendada, demostrando esa excelente capacidad de adaptación e integración, a cualquier ambiente como si de una micorriza se tratara.

Toda su Cualificación Profesional la desarrolla en la Estación Experimental del Zaidín, CSIC, Granada: primero como Becario Predoctoral, desde Octubre de 1966 a Septiembre de 1968, posteriormente como Becario Postdoctoral, desde Octubre de 1968 a Junio de 1972; Colaborador Científico del CSIC, desde Junio de 1972 a Marzo de 1976; Investigador Científico del CSIC, desde Abril de 1976 a Julio de 1984; y Profesor de Investigación del CSIC, desde Julio 1984 hasta la actualidad.

Durante toda esa larga y extensa trayectoria científica ha venido desempeñando relevantes cargos gestores: Vice-Director de la Estación Experimental del Zaidín (CSIC), Jefe del Departamento de Microbiología del Suelo, EEZ, (CSIC), Vice-Delegado del CSIC (Andalucía) y Director de la Estación Experimental del Zaidín (en el período comprendido entre Junio de 1989 a Marzo de 1997). En la actualidad es el Director de los Cursos Internacionales de Edafología y Biología Vegetal (UNESCO, AEI, CSIC, Universidad de Granada), desde 1998.

Aspectos más relevantes en su actividad docente:

Profesor Adjunto de Microbiología, Universidad de Granada (1968-1972).

Profesor, de forma continuada, del Curso Internacional de Biología Vegetal (AEI, UNESCO, Universidad de Granada y CSIC), desde 1968 hasta la fecha.

Profesor en la Actualidad de los “Masters de Excelencia”:

“Biología Agraria” e “Investigación y Avances en Microbiología” en la Universidad de Granada, y del “Uso sostenible y protección del suelo en ambientes Mediterráneos” en la Universidad de Murcia,

La Línea de Investigación sobre la que se basa su ingente producción científica, consta de una serie de Estudios básicos y estratégicos sobre la ecología, fisiología, bioquímica, biología molecular y biotecnología de las micorrizas arbusculares (simbiosis beneficiosa hongo-planta), de los hongos que las forman y de otros microorganismos promotores del crecimiento de las plantas, orientada a la aplicación de estos microbios en la recuperación de ecosistemas degradados y conservación de la flora amenazada y endémica, como alternativa, al excesivo uso de agroquímicos y fitosanitarios en agricultura.

De forma resumida los Temas de Investigación que viene desarrollando su Grupo, son el Análisis de la diversidad [Incluye hongos presentes en el suelo rizosférico en forma de esporas, micelio micorrícico externo y los hongos que colonizan la raíz y distribución de hongos formadores de micorrizas arbusculares en agroecosistemas y ecosistemas naturales, e implementación de las colecciones in vitro y ex vitro (banco de germoplasma)], la Interacción de micorrizas con microorganismos rizosféricos, en relación con el crecimiento, nutrición y salud de la planta, que dan lugar a actividades tales como: biofertilizante, mejora de la resistencia de las plantas a estreses osmóticos, control biológico de patógenos de las plantas, fitoremediación de suelos contaminados con metales pesados, y mejora de la calidad del suelo en general.

Se le puede considerar Pionero en el estudio de las micorrizas en España, estableciéndose el grupo en 1973.

Conduce un amplio grupo de Investigación integrado por unas 30 personas, entre Profesores de Investigación, Investigadores Científicos, Científicos Titulares, Técnicos, Contratados y Becarios, Pre- y Post-doctorales.

Estoy convencido cansaría a la audiencia si me entretuviera en describir toda la actividad científica lograda, a modo de resumen debo constatar:

El haber participado en numerosos Proyectos del Plan Nacional de Investigación: 10 como Principal Investigador o Coordinador y 11 como Investigador de grupo. En Programas Marco de la U.E: 1 como Coordinador General, 12 como Principal Investigador, en España y 5 como Investigador de Grupo. En dos proyectos PADI, de la Junta de Andalucía. En 3 Acciones Integradas. Y en 8 Contratos con Empresas y/o administraciones.

Con una amplia participación en Redes temáticas de investigación y acciones COST de la UE en todas ellas como Member of the Management Committee, o como Vice-Chairman.

Ha dirigido un total de 30 Tesis Doctorales, 10 Tesinas de Licenciatura, habiendo publicado 240 trabajos de investigación: 157 en Revistas SCI, tan sólo 11 en no SCI; 28 Capítulos en libros con ISBN en edición nacional y 44 en Edición Internacional.

Entre otros importantes méritos destacan:

Consultor de IFS (International Foundation for Science), Suecia. En la evaluación de proyectos presentados a las Convocatorias anuales de la Fundación y el seguimiento, asesoramiento y orientación a postgraduados de países en desarrollo, en tareas de investigación financiada por dicha Fundación.



Consultor de FAO/IAEA (International Atomic Energy Agency), Naciones Unidas, Viena.

Presidente (Chairman) del Comité Organizador del 4th European Conference on Mycorrhiza (Granada, Julio, 1994).

Presidente del Comité Organizador del Congreso Internacional "Enzymes in the Environment: Activity, Ecology and Applications" 12-15 Julio 1999.

Presidente (Chairman) del Comité Organizador del 5th International Conference on Mycorrhiza (ICOM5), Granada, 23-27 Julio, 2006. Siendo este Congreso Científico sobre Micorrizas el más importante a nivel mundial.

Aunque José Miguel, se refiera utilizando una expresión coloquial, a lo que cataloga como “golpes de la fortuna”, yo atribuyo todo lo realizado por su persona a la circunstancia de lograr un elevado nivel de conocimiento y estar bien preparado para la ciencia. Como sentenciara L. Pasteur *“la casualidad científica, solo se da en personas científicamente preparadas”*.

Se decidió, como muy bien se ha referido, por desarrollar un tema atrevido y a la vez de extrema vigencia *“Micorrizas y cambio climático”* avalado por su docto saber en la materia. Deseo catalogar de excelente, su discurso de ingreso, en el que sabiamente nos ha ido introduciendo en el tema de una forma amena, jalonando su disertación con definiciones conceptuales, para quienes fueran poco doctos en esta materia.

Discurso paradigmático de persona que conoce perfectamente el contenido y lo expone con el rigor de sus propios conocimientos. Debo felicitarle por la elección, elaboración y desarrollo del tema, lleno de mesura, conciso y ameno, que otorga un enorme protagonismo a esos microorganismos, tan desconocidos para algunos, y tan extraordinariamente útiles para otros, con esas actividades de protagonizar acciones beneficiosas para el crecimiento, la salud y la productividad, de las plantas, tanto en sistemas agrícolas como en ecosistemas naturales. Quizás más de uno piense guardan muy poca relación las micorrizas con el dichoso cambio climático, e incluso es posible consideren que sea muy poco lo que puedan realizar las micorrizas en este sentido.

Intentaré dar algunas pinceladas para avalar la argumentación tan sabiamente expuesta por José Miguel, quién, por otra parte, ha mencionado, en su intervención, a un bellissimo paraje de la costa granadina, “La Herradura” con referencia a lo descuidado de su entorno en clara alusión, al daño que este hecho pudiera ocasionar.

No sé si se trata de una nueva coincidencia de situaciones, indudablemente el hecho de que yo también pueda disfrutar de un tan grato y paradisíaco lugar de descanso como La

Herradura”, me ha hecho pensar repetidas veces sobre la posible catástrofe que pudiera ocasionarse, por ese posible irresponsable o por cualquier otra causa natural. Ya, el pasado año, se produjo una primera seria advertencia, con un pequeño incendio cerca de la playa naturista de Cantarriján. Es ciertamente lamentable continúen restos vegetales y de maleza por doquier, ¿qué hacen nuestros dirigentes para evitarlo?. Como no soy político, no voy a continuar con el tema, si debo, pues lo considero entre las funciones de las Academias, el informar, denunciar y advertir de tal hecho, siempre con la sana finalidad del bien público, para corregir errores y evitar posibles males mayores. Es realmente inadmisibles y lamentable, junto al hecho de los residuos vegetales, observar por aquella zona, contenedores específicos repletos de cartón, vidrios, envases y un largo etc., que suelen conducir a aquellas personas de buena voluntad a desistir de preparar sus residuos de forma ordenada, cuando posteriormente ven lo abandonado que se encuentra el ambiente por la Administración, en este caso la Andaluza, y en consecuencia piensen que su trabajo no conduce a nada.

Sin querer me estoy desviando del tema central de su disertación. Se ha referido a aquellos aspectos de investigación científico-técnica, como: “cambio global”, “calentamiento global”, “cambio climático”, “efecto invernadero”, “capa de ozono”, “reducción de la productividad agrícola y forestal”, “pérdida de biodiversidad”, “degradación de los ecosistemas”. A los que hacen alusión los medios de comunicación, por el tal repetidamente mencionado *cambio climático* o como mejor pudiera expresarse en la terminología de uso vigente, del *escenario de cambio global* en el cual vivimos. Se trata de aspectos preocupantes que representan un “reto” para la Humanidad y que esperan una acertada “respuesta” de la Ciencia y de la Sociedad.

Introducidos los conceptos básicos de la tesis que defiende en su discurso profundiza y amplía la información, centrándose en los aspectos concretos del significado de las micorrizas en el origen, evolución y desarrollo de las plantas, en las causas del cambio global y sus interrelaciones con el manejo de los sistemas suelo-planta. En la utilización y manejo de las micorrizas como estrategia de gestión adaptativa para mitigar, contrarrestar y/o evitar los impactos negativos del cambio climático sobre los sistemas suelo-planta.

En el prácticamente último congreso Internacional de Microbiología celebrado en ciudad de Méjico, en el año 1970, al que tuve la oportunidad y suerte de acudir, no se hablaba todavía del cambio climático como en la actualidad, pero si de la fertilidad de los suelos y de las necesarias mejoras de los terrenos para uso agrícola, junto a la importancia de tales hechos para la madre Naturaleza. Recuerdo al ingeniero Molina, de Argentina, quién relató las mejoras conseguidas en suelos argentinos tan solo por utilizar los *Azotobacter*. Envié

separatas de sus publicaciones, en una de ellas de 1956, “La destrucción del suelo argentino”, mencionaba lo escrito por un primitivo poblador del desierto, el señor Seymour, quién en 1869 describía lo siguiente: “El arado criollo consiste en un grueso palo provisto de una puntera de hierro en un extremo, el que naturalmente no ara el terreno....sino que lo araña....lo cierto es que este rico y hermoso suelo produce buenas cosechas.” En la mencionada publicación se escribía “la situación ha cambiado mucho, es necesario, en este momento decisivo para la recuperación agrícola-ganadera del país, saber en que estado de fertilidad se encuentran actualmente nuestros suelos”.

A pesar del tiempo transcurrido el mismo argumento apuntado tiene valor en nuestros días, no sólo en lo referente a la fertilidad del suelo, sino también en la respuesta biológica con relación al cambio climático. Parece razonable pensar que existe una clara correlación, más o menos directa respecto al cambio global y las interrelaciones en el manejo de los sistemas suelo planta. Pero independientemente de ello, se deben controlar los procesos de desgaste causados por el hombre, para intentar mejorar tanto desperfecto y deterioro causado por la especie humana, en circunstancias y procesos tan negativos para la Humanidad.

De forma entretenida, ha tratado de aclarar en su discurso, algunos conceptos esenciales. Fijémonos en el hecho destacable como la planta acepta a la micorriza como un amigo, y ésta en justa correspondencia otorga a las plantas una mayor capacidad de resistencia y/o tolerancia a los estreses ambientales.

Aunque sea evidente, como en el transcurso de los siglos se han venido produciendo sin cesar una serie de cambios globales, que afectan de muy distinta forma a la naturaleza, así en su magistral discurso ha citado las recientes erupciones volcánicas en Chile e Islandia, a las que yo añadiría, la reciente erupción volcánica de la isla de Hierro, parajes donde también el daño ocasionado es extraordinario, incluso superior al ocasionado por el hombre. No obstante, a veces en consecuencia, surgen nuevos tipos microbianos, nuevos amigos del hombre, capaces de encargarse de forma más o menos eficaz en la recuperación de la madre naturaleza.

Siempre desde que era niño y estudiante, deseaba conocer el mundo de los microbios, a los que he llegado a considerar como uno de nuestros mejores amigos. Creo poder afirmar, sin rotundidad, que de igual forma piensa José Miguel, para plantear esa “*estrategia de gestión adaptativa en agro-ecosistemas en ese escenario de cambio climático global*” aportado por las micorrizas, a buen seguro ofrece un claro ejemplo de cómo el hombre, especie humana, puede utilizar a nuestros queridos microorganismos que luchan denodadamente, por ofrecernos un mundo mejor.

Hoy es bien conocido como los microorganismos pasan a la atmósfera y actúan como fuentes de miasmas contagiosas. También pueden contribuir de muy diferente forma, modificando de alguna manera el desarrollo climático, al actuar como catalizadores para rebajar la temperatura, hasta niveles del orden de los  $-36^{\circ}\text{C}$ , tal disminución térmica, va a ser la responsable de esa formación de gota fría capaz de provocar enormes aguaceros.

A diferencia de la especie humana los microorganismos son un claro paradigma de convivencia entre especies, miembros de las inmensas poblaciones de microorganismos que viven en el suelo, se desarrollan asociados a las raíces de las plantas, en muchos casos, beneficiando el desarrollo y salud de las mismas. Una primera publicación clave y rompedora en este sentido, fue la realizada por Albert D. Rovira en el *Botanical Review*, en 1968 titulada “Plant root exudates” en la que describía esa realmente maravillosa interacción microorganismo planta, refiriéndose a los exudados radiculares, como a aquellas sustancias liberadas al medio por las raíces intactas de plantas saludables. El efecto estimulador o inhibidor de estos compuestos, se adentraba en los mecanismos de la mencionada exudación, a su zona de influencia, dependiente de la cantidad exudada y de la susceptibilidad de tales constituyentes para la absorción o descomposición microbiana. Es en esa zona de influencia o rizosfera donde se produce una estimulación selectiva de determinados microorganismos, ya sean bacterias predominantemente Gram negativas, ya sean hongos, donde debemos situar a los hongos micorrizas, en aquellos años relativamente poco conocidos y estudiados.

José Miguel postula y ratifica en su conclusión como las micorrizas, que ayudaron a las plantas a prosperar en un ambiente tan hostil, siguen desempeñando ese decisivo role de ayuda a la vegetación, para que pueda vivir y prosperar en ambientes sometidos a situaciones de estrés. Un manejo inadecuado de los sistemas suelo-planta va a cooperar a ese cambio global al que hace referencia en su discurso. De igual forma un apropiado manejo de dicho sistema debe contribuir a paliar los efectos negativos del mismo, ofreciendo una esperanza de mejora en el mundo que vivimos. De ahí el enorme mérito de su propuesta sobre el ***Manejo de las micorrizas como una estrategia de gestión adaptativa para mitigar, contrarrestar y/o evitar los impactos negativos del cambio climático.***

Se encuentra más que justificada, la defensa de su conclusión general en este discurso, la micorrización dirigida constituye una evidente estrategia de gestión adaptativa para proteger la diversidad de las plantas, dentro de ese escenario de cambio climático global, ejerciendo un destacado protagonismo en el manejo sostenible de los cultivos agrícolas y de las masas forestales, tanto para propiciar la producción de alimentos saludables, como para favorecer la estabilidad y la productividad de los ecosistemas.

Mi conclusión personal, sin ningún género de dudas, es que el Prof. de Investigación José Miguel Barea Navarro, representa un verdadero orgullo para la ciudad de Granada, nuestra Universidad, el CSIC y a partir de ahora para nuestra Academia, pues no dudo que su brillante intervención de hoy, sea el prólogo de una fructífera labor en la misma.

He dicho