

*Diplomado en Asuntos Antárticos
GAIA Antártica
Universidad de Magallanes*

PLANTAS VASCULARES
ADAPTACIÓN A NIVELES ELEVADOS DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA-B EN
LA ANTÁRTICA

Cynthia Loreto Valenzuela M.

Noviembre de 2016

INDICE

<u>CONTENIDOS</u>	PAG
Resumen.....	3
Palabras claves.....	3
1. Introducción.....	4
2. El origen del aumento de la radiación ultravioleta-B.....	5
3. Las plantas vasculares de la Antártica.....	6
4. La adaptación al medio ambiente.....	7
4.1 Adaptaciones morfológicas.....	8
4.2 Adaptaciones químicas.....	8
4.3 Antioxidantes.....	10
4.4 Adaptaciones Fotoquímicas.....	10
4.5 El daño al ADN de las plantas.....	11
5. Conclusiones.....	12
6. Bibliografía.....	13

Resumen

En las últimas décadas han ocurrido una serie de alteraciones en el clima del planeta. La mayoría de estos cambios son consecuencias de la actividad humana, que modifica el equilibrio natural de nuestro medio ambiente. Entre los más relevantes se pueden citar, el aumento de los gases de invernadero que ha provocado el calentamiento de la atmósfera y los océanos. Como consecuencia de ello, ha ocurrido una disminución de la criósfera producto del derretimiento de los glaciares y otras masas de hielo, lo que a su vez ha producido un aumento del nivel de agua de los océanos. El adelgazamiento de la capa de ozono es otro suceso ambiental de relevancia, ya que ha generado un incremento de los niveles de radiación ultravioleta que alcanzan, principalmente a los ecosistemas del hemisferio sur.

Sin duda que los organismos que crecen en el territorio antártico poseen mecanismos de adaptación muy eficientes, los cuales les han permitido sobrevivir y responder adecuadamente a estas condiciones ambientales. Dado que la mayor parte del territorio antártico está cubierto de nieve y hielo, las plantas vasculares que crecen ahí disponen de una escasa extensión de suelo. Además de las condiciones climáticas naturales adversas de temperatura, viento, escasa luz solar y otras, a las cuales han tenido que adaptarse, se ha agregado los altos índices de radiación ultravioleta-B que alcanzan la superficie de la Tierra. La evidencia experimental encontrada en varios estudios científicos, demuestra que las plantas, además de las respuestas morfológicas y fisiológicas, poseen estrategias químicas para defenderse contra los altos niveles de radiación UV. Alteraciones en el contenido enzimático y lesiones en la estructura del ADN, que a veces pueden traducirse en mutaciones, son otros de los efectos nocivos de esta radiación.

En cuanto a las conclusiones que se pueden obtener de esta revisión, es posible indicar que *Deschampsia antarctica* Desv. y *Colobanthus quitensis* (Humboldt, Bonpland y Kunth) Bartl., son las únicas especies de plantas vasculares que crecen naturalmente en la Antártica. Estos ejemplares son capaces de soportar las condiciones ambientales hostiles y responder adecuadamente a grandes fluctuaciones de temperatura, de luminosidad y, en las últimas décadas, de radiación UV-B.

Palabras claves. Radiación ultravioleta-B, cambio climático, *Deschampsia antarctica*, *Colobanthus quitensis*, Antártica.

1. Introducción

El objetivo de esta monografía es revisar y analizar la información que existe acerca de la adaptación a los altos niveles de radiación ultravioleta-B de dos plantas vasculares que crecen en el territorio antártico. Para ello se ha realizado una búsqueda de información en diferentes fuentes tales como trabajos científicos, libros y visitadas páginas Web que contienen la información más relevante acerca del tema.

Durante las últimas décadas la Antártica Chilena y la Región de Magallanes han estado sometidas a un incremento de los niveles de radiación ultravioleta-B (UV-B). Esta cantidad de radiación que alcanza la superficie terrestre y marina, supera la encontrada en los ambientes naturales y se considera un problema medioambiental, generado por acciones antropogénicas (humanas) que disminuyen la concentración de ozono estratosférico. Lo anterior ha llevado a los organismos que ahí se desarrollan, tanto plantas como animales, ha adquirir mecanismos eficientes para protegerse de este estrés ambiental. Es por ello que resulta muy interesante conocer los efectos del aumento de la radiación UV-B en las plantas y las estrategias que utilizan para sobrevivir en estos ambientes. En esta monografía se revisarán y comentarán los trabajos más relevantes relacionados con la respuesta fotoquímica, molecular y fisiológica en la adaptación a los efectos de la radiación ultravioleta-B de *Deschampsia antarctica* Desv. y *Colobanthus quitensis* (Humboldt, Bonpland y Kunth) Bartl., especies que crecen en la zona sub-Antártica de Magallanes y también en algunas islas del archipiélago Shetland del Sur.

Existen varios trabajos que han demostrado los efectos de la radiación UV-B en las plantas. Estas alteraciones varían desde síntomas visibles en las hojas hasta cambios más importantes en ciertos procesos fisiológicos y morfológicos, tales como, el crecimiento, la fotosíntesis y la floración. Otros estudios han descrito los efectos de esta radiación en la producción de biomasa, en la actividad enzimática, la composición química, entre otros. Por otra parte, existe poca información acerca de cómo las plantas de la Antártica responden a estos cambios ambientales y cuáles serían los mecanismos involucrados en su defensa. Un mejor conocimiento de los factores fisiológicos, bioquímicos y genéticos a evaluar, permitirá comprender los eventos que suceden como respuesta frente a este tipo de estrés y los mecanismos de adaptabilidad a radiación UV.

2. El origen del aumento de la radiación UV-B

En la última década se han desencadenado una serie de cambios climáticos en el planeta, la mayoría de ellos como una consecuencia o respuesta a los efectos de la actividad humana en el medio ambiente. Entre estas alteraciones se pueden citar: el aumento de los niveles de radiación ultravioleta-B (UV-B) en el hemisferio sur; el incremento de la concentración de gases de invernadero tales como el dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4) que producen un calentamiento de la atmósfera y los océanos, conocido como “efecto invernadero”; la disminución de las precipitaciones nieve y el aumento de los niveles de agua en los océanos, producto del derretimiento de glaciares y otras masas de hielo. Todos estos fenómenos son conocidos como “cambio climático” los que han generado una serie de modificaciones en el clima de la Tierra.

El calentamiento global y el cambio climático son términos utilizados para describir el aumento significativo y permanente de los patrones locales o globales de la temperatura promedio del clima (Gilles, 2015). Existen varios tipos de evidencia científica que muestran que el clima de la Tierra se está calentando (Hartmann et al. 2013). Sus causas pueden ser naturales, como las variaciones en la energía solar que recibe el planeta, erupciones volcánicas, circulación oceánica, procesos biológicos y otros, o puede ser causada por influencia antropogénica, debido a la emisión de CO_2 y otros gases que atrapan calor, o por la modificación en el uso de grandes extensiones de suelos que causan un calentamiento global, modificando los promedios de precipitaciones anuales y aumentando la expansión de los desiertos en las zonas sub-tropicales. Este aumento de la temperatura de la atmósfera terrestre se ha observado desde mediados del siglo XIX. A partir de 1950 se ha reunido una gran cantidad de información, la que junto a reconstrucciones paleoclimáticas, entregan una completa visión acerca de la variabilidad y cambios de largo plazo que han ocurrido en la atmósfera, los océanos, la criósfera y la superficie terrestre. Muchos de estos cambios observados no tienen precedentes en décadas o milenios. Los registros indican un aumento de aproximadamente $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, dos tercios de esta variación a partir de 1980. El panel intergubernamental sobre el cambio climático informó en 2014 que entre los científicos existe una certeza de más un 95% del calentamiento global es causado por el aumento de gases de efecto invernadero producidos por actividades humanas, principalmente el uso de combustibles fósiles (carbón, gas natural y derivados del petróleo) y la deforestación (America's Climate Choices, 2010; IPCC, 2014) .

Un suceso ambiental que aumentó notoriamente el interés por los estudios atmosféricos, fue el descubrimiento del “adelgazamiento de la capa de ozono” que se produce en la época de primavera en el cono sur de América y la Antártica. De particular importancia para la sociedad, han sido aquellos cambios producidos por la actividad humana, sobretudo luego que se postuló que los compuestos halogenados de carbono pueden destruir el ozono atmosférico. Se espera que el adelgazamiento de la capa de ozono atmosférico resulte en un aumento sustancial

en la cantidad de radiación UV-B que alcanza la superficie de la Tierra particularmente en aquéllas conocidas por ser las más activas biológicamente. En el año 1984, se dio la primera alerta de que estas disminuciones se vienen registrando desde el año 1966, conforme a mediciones realizadas en la estación antártica japonesa, Syowa, (69° S, 40° E). Varios años más tarde, las dimensiones del llamado “agujero de ozono” adquieren tal extensión que alcanza las altas latitudes del cono sur de América, entre las cuales se encuentra la ciudad de Punta Arenas (53° S, 70° O). Desde entonces, ésta ciudad y otras de similares latitudes (como las ciudades Argentinas de Río Gallegos y Ushuaia), al inicio de la primavera austral y en forma esporádica, quedan bajo el “agujero de ozono” de la primavera austral, produciéndose incrementos anormales en los valores de radiación UV-B solar. Estas presunciones han sido corroboradas por la NASA y el laboratorio de monitoreo de ozono y RUV-B de la Universidad de Magallanes, quienes han determinado que estas reducciones en el ozono atmosférico pueden resultar –en algunos momentos del día- en un aumento sustancial de la cantidad de radiación UV-B que alcanza la corteza terrestre. Por ejemplo, el 12 de octubre de 2002, hubo un evento de disminución de la capa de ozono de 41.8%, el cual produjo un incremento de 80%, integrando el espectro del rango UV-B. En general, cada 1% de reducción en la concentración del ozono, se produce un aumento de 1.3-1.8% en la cantidad de radiación que alcanza la biosfera (Hollós, 2002).

3. Las plantas vasculares de la Antártica

La mayor parte del territorio en el continente antártico está cubierto de hielo y nieve de manera permanente. Esto deja menos de un 1% de suelo disponible para el crecimiento y colonización por las plantas. Esta superficie libre de hielo y nieve se encuentra a lo largo de la península antártica, en islas asociadas como también en la costa del continente. En esa región inhóspita, no existen árboles o matorrales, sólo 2 especies de plantas con flores (fanerógamas) son capaces de crecer: *Deschampsia antarctica* Desv. y *Colobanthus quitensis*. Esta se encuentra principalmente en las islas Orkney Sur y en las Shetland del Sur, como también a lo largo de la península antártica occidental.

El resto de la vegetación son predominantemente musgos, hepáticas, líquenes y hongos, los cuales están especialmente adaptados para sobrevivir en ambientes extremos, tolerando bajas temperaturas, deshidratación y altos niveles de radiación UV-B. En general la mayor diversidad de especies se encuentra lo largo de la península antártica donde el clima es más templado y más húmedo que en cualquier otro lugar de ese continente.

Deschampsia antarctica Desv., también conocida como “pasto antártico” es una de las dos plantas vasculares que ha colonizado la Antártica y zonas subyacentes y pertenece a la familia Poaceae. (Edwards y Lewis, 1988). Posee una baja distribución latitudinal habitando en el extremo sur del hemisferio austral

y se puede encontrar tanto en el continente, como en Tierra del Fuego, islas subantárticas y la península antártica.

Esta gramínea, única en las gélidas tierras antárticas, ha estado sometida de manera natural al aumento de los niveles de radiación UV-B que ha experimentado en los últimos años la región, debido a un incremento en el adelgazamiento de la capa de ozono, esto es, al aumento de magnitud que ha experimentado el “agujero de ozono”. En la naturaleza, las plantas están expuestas a numerosos factores bióticos y abióticos. La presión de selección ejercida por éstos en los vegetales, provocó el desarrollo de numerosas rutas de biosíntesis a través de las cuales se sintetizan y acumulan una gran variedad de metabolitos secundario en sus órganos.

Colobanthus quitensis (“perla antártica o clavel antártico”), es la otra especie vascular que crece en el continente Antártico. *Colobanthus* pertenece a la familia Caryophyllaceae y extiende su rango de distribución desde México hasta la península antártica. Se encuentra cerca de las costas en áreas donde el hielo no es permanente formando pequeños cojines de varios individuos; puede alcanzar una altura de cerca de 8 cm. Debido a recientes calentamientos, se han producido algunos incrementos en ciertas poblaciones. A medida que el verano es más intenso, más semillas germinan, creando un gran número de nuevos individuos. Los reportes indican 1/5 de incremento en las poblaciones de *C. quitensis*, pero aún no está confirmada la extensión de su rango más al sur, esta especie se extiende hasta los 68° de latitud S (Marticorena y Quezada, 1985; Zuloaga et al. 2008).

4. Adaptaciones al medioambiente

D. antarctica y *C. quitensis*, las únicas especies de plantas superiores que crecen naturalmente en la Antártica, son capaces de soportar las condiciones ambientales hostiles y responder adecuadamente a grandes fluctuaciones de temperatura, de luminosidad y, en las últimas décadas, de radiación UV-B.

Desde que *D. antarctica* está presente en la Antártica, hace 5 milenios aproximadamente se ha postulado que anatómicamente su hoja presenta adaptaciones al ambiente hostil (Alberdi et al, 2002), a los lugares donde vive la planta, y que se caracterizan por poseer condiciones menos favorables para el desarrollo de la vida. La combinación de bajas temperaturas, altas intensidades lumínicas asociadas a radiación ultravioleta de igual intensidad durante el periodo de crecimiento de las plantas, provoca que estos organismos tengan mecanismos efectivos para su supervivencia en estas condiciones adversas.

4.1 Adaptaciones en la morfología

Desde que se descubrió el agujero de ozono sobre la Antártica, preocupa como los efectos de la radiación UV-B influyen sobre los organismos. A nivel anatómico y fisiológico se ha comprobado que hay una reducción en división celular, una disminución en el área de la hoja y del mismo modo, en el crecimiento de los individuos bajo la alta irradiación.

Se demostró que la anatomía de la hoja de la planta que crece en las Islas Robert, desarrolla características más xerofíticas en comparación con clones cultivados en laboratorio en condiciones menos adversas. Los ejemplares antárticos presentaban menor superficie foliar y células epidérmicas de menor tamaño sugiriendo que la planta tiene una respuesta plástica de su fenotipo a las condiciones adversas.

Se ha observado que los ejemplares antárticos son de menor tamaño que sus parientes del continente (Correa, 1978). En un estudio realizado en *D. antarctica* por Chwedorzewska et al (2008) se encontraron diferencias en tamaño, forma y color de las hojas, en plantas de la misma especie que crecen en dos microhabitats distintos de la Antártica. El efecto de la radiación UV-B en la biomasa en *C. quitensis* y *D. antarctica* también fue estudiado por Xiong y Day (2001). Ellos encontraron que las plantas expuestas a esta radiación producían menos biomasa y tenían una reducción en el área foliar. Las hojas también eran más densas, gruesas y tenían una mayor concentración de pigmentos fotosintéticos y absorbentes de la radiación UV-B.

4.2 Adaptaciones químicas

Tal vez *D. antarctica* sea uno de los organismos antárticos más estudiados para conocer los mecanismos de su adaptación al frío. Sin embargo, los estudios químicos son escasos y acerca de *C. quitensis* no existe información de su contenido químico. Los análisis fitoquímicos realizados en estas plantas, han demostrado la presencia de flavonoides, dentro de sus metabolitos constituyentes. Dada las características estructurales y de absorción de estos compuestos, se considera que estas moléculas participan en la protección de las especies contra el estrés de radiación UV-B. Los flavonoides han evolucionado funcionalmente con las plantas y dentro de sus particularidades se encuentra su capacidad para actuar como filtro natural contra la radiación solar (tal como los utilizados comúnmente en bloqueadores solares), reduciendo el impacto de daños importantes sobre estructuras de su maquinaria fotosintética. Del mismo modo, existen enzimas de la ruta biosintética fenilpropanoide que permiten la síntesis y acumulación de compuestos antioxidantes, que capturan especies reactivas (ej., radicales libres, anión superóxido) generadas por esta radiación.

En este contexto, se considera que los cambios en las propiedades ópticas de los tejidos de las capas más externas juegan un papel importante en la defensa de

las plantas contra este tipo de radiación. Así, los flavonoides presentes en los extractos de la superficie de las hojas han sido involucrados en la defensa de las plantas contra la radiación UV-B). Además, otros pigmentos tales como los carotenoides, fenilpropanoides y compuestos fenólicos también han sido implicados en estos mecanismos de defensa. De hecho, varias plantas son capaces de acumular pigmentos que absorben la radiación UV cuando son irradiadas (Beggs et al. 1985). Del mismo modo, existen varias asociaciones bien documentadas entre irradiación con luz UV-B y el contenido de flavonoides en las hojas.

Asimismo, los altos niveles de radiación UV-B que alcanzan la zona de Magallanes (49°-56° S, 67°-75° O) sin duda alguna que están perturbando fuertemente a la flora y fauna del lugar. Por ejemplo, un estudio acerca de los efectos de la radiación UV-B, demostró que además de las respuestas de tipo morfológico y fisiológico, las plantas pueden utilizar defensas de tipo químico como una estrategia para defenderse de esta radiación. En otro estudio, Pereira et al. (2009), analizaron el efecto fotoprotectivo del extracto metanólico de *D. antarctica* y *C. quitensis* contra el daño producido por la radiación ultravioleta al ADN. Ellos encontraron un efecto fotoprotector de los extractos y lo atribuyeron a la presencia de moléculas tipo flavonoides y carotenoides que actúan como compuestos que absorben la radiación UV-B. El efecto de la disminución de ozono que resulta en un aumento de la radiación UV-B sobre la Antártica, también ha sido estudiado por otros autores como Rozema et al (2005), quienes han encontrado un aumento de los compuestos fenólicos, daño al ADN, efectos en la fotosíntesis entre los efectos mas importantes.

La base teórica de estas respuestas bioquímicas se encuentra fundamentalmente en el espectro de absorción de ciertos metabolitos como los flavonoides y otros pigmentos (fenilpropanoides, carotenoides), que les permiten absorber esta radiación. Por otra parte, la ruta biosintética de estos metabolitos también estaría siendo afectada por la radiación UV, ya sea incrementando la síntesis de las enzimas que participan en algunas de las etapas de la ruta, o por un aumento de la actividad específica de una de ellas. De esta manera, la planta estaría más protegida dada la absorción más eficiente de estos productos naturales.

Hasta el momento, los resultados de las investigaciones muestran que *D. antarctica* presenta mecanismos eficientes en contra de la radiación UV-B, entre los que se puede citar la síntesis de compuestos capturadores de radicales libres (fenoles y flavonoides), producidos por la radiación solar y que aumentan su concentración, durante los altos niveles de esta radiación en pleno verano antártico. Las hojas expuestas a la alta irradiación contienen elevados niveles de pigmentos absorbentes que actúan como filtros solares (Montiel et al. 1999; Xiong y Day 2001) y altos niveles de flavonoides, especialmente en medio del verano antártico. Por lo tanto, esta especie se encuentra bien adaptada a altos niveles de radiación UV-B.

4.3 Antioxidantes

Por otra parte, existen varios antioxidantes enzimáticos, tales como: superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), ascorbato peroxidasa (APX), glutatióna reductasa (GR) y no-enzimáticos: carotenoides (CAR), α -tocoferol (α -TOC), ascorbato (ASC) y glutatióna (GSH) que han sido involucrados en las respuestas de las plantas a la radiación UV-B. Aunque los antioxidantes se pueden generar de diversas fuentes, en el caso particular de estas plantas, la alta exposición al estrés oxidativo, dado las condiciones particulares donde crece, las hacen producir dichos compuestos en cantidades relativamente elevadas. En un estudio realizado por Zamora et al. (2010) en *D. antarctica*, se analizó la actividad de varios antioxidantes enzimáticos (GR, APX, CAT). Los resultados obtenidos indicaron que la tolerancia de esta especie está asociada a un aumento de la actividad enzimática y su capacidad para atrapar radicales libres.

4.4 Adaptaciones fotoquímicas

Otros estudios han demostrado el efecto de la radiación ultravioleta en el complejo de pigmentos fotosintéticos y colectores de luz. Tevini et al. (1981), encontraron que el contenido de clorofila decreció en un 70%. Del mismo modo, Cen y Bornman (1990), encontraron que bajas dosis de radiación UV-B aumentan el contenido de pigmentos pero dosis más elevadas disminuyen el contenido de ellos. Un estudio de Bascuñán (2008), comparó la actividad fotosintética de 2 ecotipos de *C. quitensis*. Se encontró que una de las estrategias para sobrevivir en ese ambiente es la regulación de su eficiencia fotosintética, es decir, el uso de la energía lumínica para realizar fotosíntesis durante su corto período de crecimiento. Esto sugiere que los efectos de la radiación UV-B en el aparato fotosintético pueden ser muy relevantes en las plantas antárticas, ya que podrían alterar su adaptación al ambiente antártico modificando la regulación de estos procesos fotoquímicos.

Toda esta evidencia experimental ha demostrado que las plantas, además de las respuestas morfológicas y fisiológicas, poseen estrategias bioquímicas para defenderse contra los altos niveles de radiación UV-B. Por otra parte, existen estudios enzimáticos que han permitido confirmar estas observaciones, demostrando que los genes que codifican para las enzimas de las etapas iniciales de la biosíntesis de flavonoides, incluyendo la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL) y la enzima chalcona sintasa (CHS) son inducidos por la radiación UV-B.

Finalmente, en una aproximación molecular utilizando variedades mutantes de *Arabidopsis*, que poseen hojas donde el proceso de biosíntesis de flavonoides está bloqueado (*recessive transparent testa*), encontraron que son altamente sensibles a los daños producidos por la radiación UV-B. Además, demostraron que estas plantas utilizan dos clases distintas de derivados de fenilalanina -los flavonoides y los ésteres del ácido sinápico- para proveerse protección contra esta radiación.

4.5. El daño al ADN de las plantas

La radiación ultravioleta (UV-C y UV-B) es absorbida muy fuertemente por los ácidos nucleicos, produciéndose una gran cantidad de fotoproductos de ADN. La lesión del ADN más conocida y estudiada es la formación de dímeros de pirimidina tipo ciclobutano (CTPD). Este efecto, es producido por la dimerización de bases pirimidínicas adyacentes (TT, TC, CT o CC, tipos de bases nitrogenadas que forman las hebras de ADN) ubicadas sobre la misma cadena nucleotídica. En estudios separados se encontraron que los dímeros del tipo ciclobutano constituyen el 75% del daño total al ADN. Todos los cambios físicos en la secuencia del ADN pueden conducir a cambios en los productos de expresión y de esta manera propiciar los cambios fenotípicos indicadores de una mutación. En otras oportunidades, los cambios pueden afectar secuencias que no codifican proteína alguna, en cuyo caso la mutación será “silenciosa” y no podrá ser detectada por cambios en las condiciones físicas. Analizada la secuencia de ADN en 2 poblaciones de *D. antarctica* de las Islas George que exhibían diferencias morfológicas se encontraron mutaciones en la secuencia de ADN de las muestras analizadas y asumieron que dichos cambios podrían considerarse como una respuesta a las condiciones ambientales que se traducen en una variación fenotípica de las especies que crecen en las islas Shetland del Sur. De esta manera las lesiones a la estructura del ADN pueden ser traducidas en mutaciones.

5. Conclusiones

En base a toda la información científica revisada, es posible indicar algunas conclusiones acerca de la adaptación al medio ambiente que las plantas antárticas *D. antarctica* y *C. quitensis* han debido desarrollar para sobrevivir en ese gélido continente, donde deben soportar condiciones muy hostiles como la radiación ultravioleta, el estrés hídrico y las bajas temperaturas. Estas plantas que se encuentran sometidas frecuentemente a un estrés de radiación UV-B presentan alteraciones bioquímicas, genéticas, anatómicas y morfológicas comparadas con especies que crecen en otras regiones del planeta que presentan una menor intensidad de esta radiación.

Para poder adaptarse a estas condiciones climáticas, han modificado su actividad enzimática, principalmente de las rutas biosintéticas secundarias lo que se ha traducido en un aumento en el contenido de flavonoides, carotenoides y/o fenilpropanoides, ya que estos compuestos son capaces de absorberla. Dentro de los cambios anatómicos y morfológicos se pueden indicar el menor crecimiento longitudinal de las plantas, la disminución del área foliar y el aumento del espesor de las hojas. Todas estas modificaciones tienen como objetivo impedir que esta radiación tan nociva alcance los tejidos internos, produciendo daños irreparables en ellos.

Del mismo modo, existen modificaciones en el aparato fotosintético, relacionadas con la variación del contenido de pigmentos fotosintéticos y la actividad fotoquímica de éste. Dichos cambios tratan de optimizar el funcionamiento y la utilización de la energía lumínica para realizar fotosíntesis durante su corto período de crecimiento y se pueden considerar como una estrategia para sobrevivir en ese ambiente. Esto sugiere que los efectos de la radiación UV-B en el aparato fotosintético pueden ser muy relevantes en las plantas antárticas, ya que podrían alterar su adaptación al ambiente antártico modificando la regulación de estos procesos fotoquímicos. Finalmente, las lesiones en el ADN de las plantas, traducidas en una gran cantidad de fotoproductos que se producen podrían manifestarse en mutaciones al momento de la replicación de estas hebras.

Todas estas adaptaciones bioquímicas, fisiológicas y genéticas encontradas en estas plantas vasculares que crecen en la Antártica son una muestra de cómo las especies naturales enfrentan un problema ambiental en este territorio prístino, que debería hacer reflexionar a los seres humanos acerca de la influencia y efectos nocivos que tienen sus actividades tanto en la naturaleza, como en nuestro planeta.

6. Bibliografía

1. America's Climate Choices: Panel on Advancing the Science of Climate Change; National Research Council (2010). Advancing the Science of Climate Change. Washington, D.C.: The National Academies Press. ISBN 0-309-14588-0. (p1) <http://www.nap.edu/catalog/12782/advancing-the-science-of-climate-change>.
2. Bascuñán, L. (2008). Diferentes estrategias de *Colobanthus quitensis* para resistir en la Antártica y en la cordillera. Boletín Antártico Chileno, 27, (2), 8-9.
3. Beggs, C.L.; Stolzer-Jehle, A.; Wellman, E. (1985). Isoflavonoid formation as an indicator of UV stress in bean (*Phaseolus vulgaris*) leaves. Plant Physiol., 79, 630-634.
4. Borenstein, S. (2015). Earth is a wilder, warmer place since last climate deal made <http://bigstory.ap.org/content/seth-borenstein/>. 25/07/2016.
5. British Antarctic Survey (2015). Plants. Antarctic wildlife.
6. Campos, J.L.; Figueras, X.; Piñol, M.T.; Boronat, A.; Tiburcio, A.F. (1991). Carotenoid and conjugated polyamine levels as indicators of ultraviolet-C induced stress in *Arabidopsis thaliana*. Photochem. Photobiol., 53, 689-693.
7. Casaretto, J.A.; Corcuera, L.J.; Serey, I.; Zúñiga, G.E. (1994) Size structure of tussocks of a population of *Deschampsia antarctica* Desv. Robert Islands. Maritime Antarctica. Serie Científica INACH, 44, 61-66.
8. Cen, Y.P.; Bornman, J.F. (1990). The response of bean plants to UV-B radiation under different irradiances of background visible light. J. Experim. Botany, 41, 1489-1495.
9. Correa, N.M. (1978). Flora Patagónica. Parte III: Graminaeae. Buenos Aires, tomo VII Colección Científica INTA. 563 p.
10. Edwards, J.A.; Lewis, R.I. (1988). Photosynthesis and respiration of *Colobanthus quitensis* and *Deschampsia antarctica* from the Maritime Antarctic. Br. Antarct. Sur. Bull., 81, 43-63.
11. EPA (US). (2013). Myth and Facts: Denial of Petitions for Reconsideration of the Endangerment and Cause or Contribute Findings for Greenhouse Gases under Section 202(a) of the Clean Air Act.
12. Gillis, J. (2015). Short Answers to Hard Questions about Climate Change. The New York Times. http://www.nytimes.com/interactive/2015/11/28/science/what-is-climate-change.html?_r=0. 29/11/2015.
13. Harborne, J.B.; Williams, C.A. (1976). Flavonoid patterns in leaves of the gramineae. Biochem. Syst. Ecol., 4 (4), 267-280.
14. Hartmann, D. L.; Klein Tank, A. M. G.; Rusticucci, M. (2013). "2: Observations: Atmosphere and Surface", IPCC WGI AR5, p. 198. http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_Chapter02_FINAL.pdf.
15. Hollós, F. (2002), Effects of ultraviolet radiation on plant cells. Micron, 33, 179-197.

<https://www.bas.ac.uk/about/antarctica/wildlife/plants/25/072016>.

<https://www3.epa.gov/climatechange/endangerment/myths-facts.html>.

16. Li, J.; Ou-Lee, T.M.; Raba, R.; Amundson, R.; Last, R. (1993). *Arabidopsis* flavonoid mutants are hypersensitive to UV-B radiation. *The Plant Cell*, 5, 171-179.
17. Marticorena, C.; Quezada, M. (1985). Catálogo de la Flora Vascular de Chile. *Gayana Bot.*, 42, 1-157.
18. Mc Lennan, A.G.; Eastwood, A.C. (1986). An endonuclease activity from suspension cultures of *Daucus carota* which acts upon pyrimidine dimmers. *Plant Sci.*, 46, 151-157.
19. Montiel, P.; Smith, A.; Keiler, D. (1999). Photosynthetic responses of selected Antarctic plants to solar radiation in the southern maritime Antarctic. *Polar Res.*, 18, 229-235.
20. Pereira, B.K.; Moreira, R.; da Silva J.; Nikolova, T.; Marques de Oliveira, I.; Ianistcki, M.; Benvegnú, V.C.; Vasata, G.; Ferraz, A.; Richter, M.F.; Schroder, N.; Batista, A.; Pêgas, J.A. (2009). Protective effects of three extracts from Antarctic plants against ultraviolet radiation in several biological models. *J. Photochem. Photobiol. B: Biology*, 96 (2), 117-129.
21. Rao, M.V.; Paliyath, G.; Ormrod, D.P. (1996). Ultraviolet-B and ozone-induced biochemical changes in antioxidant enzymes of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiol.*, 110, 125-136.
22. Romero, M.; Casanova, A.; Iturra, G.; Reyes, A.; Montenegro, G.; Alberdi, M. (1999). Leaf anatomy of *Deschampsia antarctica* (Poaceae) from the Maritime Antarctica and plastic response to changes in the growth conditions. *Rev. Chil. Hist. Natl.*, 72, 411-425.
23. Rowland, F.S.; Molina, M.J. (1975). Chlorofluoromethanes in the environment. *Rev. Geophys.* 13, 1-36.
24. Rozema, J.; Boelen, P.; Blokker, P. (2005). Depletion of stratospheric ozone over Antarctic and Arctic: Responses of plants of polar terrestrial ecosystems to enhanced UV-B, an overview. *Environ. Poll.*, 137 (3), 428-442.
25. Tevini, M.; Iwanzik, W.; Thoma, U. (1981). Some effects of enhanced UV-B radiation on the growth and composition of plants. *Planta*, 153, 388-394.
26. Xiong, F.S.; Day, T. (2001). Effect of solar ultraviolet-B radiation during spring time zone depletion on photosynthesis and biomass production of Antarctic vascular plants. *Plant Physiol.*, 125, 738-751.
27. Zamora, P.; Rasmussen, S.; Pardo, A.; Prieto, H.; Zúñiga, G.E. (2010). Antioxidant responses of in vitro shoots of *Deschampsia antarctica* to polyethylene glycol treatment. *Antarct. Sci.*, 22(2), 163-169.