



Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción

Facultad de Ciencias y Tecnología

Centro de Tecnología Apropriada

Maestría en Gestión de Riesgo de Desastre  
y Adaptación al Cambio Climático

**Análisis de la tasa de mortalidad por cáncer de piel en  
diferentes escenarios de cambio climático**

**Abel Delgado Villalba**

Asesor: Prof. Dr. Marcelo de Paula Corrêa

Tesis de Maestría

Asunción, agosto de 2020





Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción

Facultad de Ciencias y Tecnología

Centro de Tecnología Apropriada

Maestría en Gestión de Riesgo de Desastre  
y Adaptación al Cambio Climático

**Análisis de la tasa de mortalidad por cáncer de piel en  
diferentes escenarios de cambio climático**

**Abel Delgado Villalba**

Asesor: Prof. Dr. Marcelo de Paula Corrêa

Tesis de Maestría

Asunción, agosto de 2020

“La presente publicación ha sido elaborada con el apoyo del CONACYT. El contenido de la misma es responsabilidad exclusiva de los autores y en ningún caso se debe considerar que refleja la opinión del CONACYT”.

# Dedicatoria

*A mis padres.*

# Agradecimientos

Al Prof. Dr. Marcelo de Paula Corrêa, investigador de importante trayectoria en temas relacionados al cambio climático y sus efectos en la salud humana, quien me orientó en la elaboración de este trabajo de investigación.

A los Docentes de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción (UC), por su invaluable contribución al conocimiento.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada.

---

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Planteamiento y formulación del problema . . . . .	2
1.2. Justificación . . . . .	3
<b>2. Hipótesis y Objetivos</b>	<b>5</b>
2.1. Hipótesis . . . . .	5
2.2. Objetivo general . . . . .	6
2.3. Objetivos específicos . . . . .	6
<b>3. Marco teórico</b>	<b>7</b>
3.1. El cáncer de piel . . . . .	7
3.2. Factores de riesgo . . . . .	7
3.3. Medición del principal factor de riesgo . . . . .	9
3.4. El cambio climático y el cáncer de piel . . . . .	12
3.5. Proyecciones del contenido total de ozono y de la radiación ultravioleta en diferentes escenarios de cambio climático en Sudamérica . . . . .	12
3.6. Convenios sobre el cuidado del clima y la prevención del cáncer de piel . .	15
3.7. Cifras de incidencia del cáncer de piel . . . . .	15
3.8. Cifras de mortalidad por cáncer de piel . . . . .	17
<b>4. Metodología</b>	<b>19</b>
<b>5. Resultados y Discusión</b>	<b>26</b>
5.1. Determinación de la tasa específica de mortalidad por cáncer de piel . . . .	26
5.2. Determinación de los años de vida potencialmente perdidos (AVPP) y eva- luación de los costos estimados de la mortalidad por cáncer de piel . . . . .	27

---

5.3. Modelación matemática de la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel . . . . .	28
5.4. Análisis de la variación temporal del contenido total de ozono en Asunción	29
5.5. Proyecciones de la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel . . .	32
<b>6. Conclusiones</b>	<b>36</b>
<b>7. Recomendaciones</b>	<b>40</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>41</b>
<b>A. 23 de Mayo: Día Mundial del Melanoma</b>	<b>49</b>
<b>B. Las camas solares son cancerígenas</b>	<b>51</b>

---

## Lista de figuras

3.1. Melanoma cutáneo (Arrangoiz et al., 2016) . . . . .	8
3.2. Carcinoma de células basales en la nariz (Riffat et al., 2015) . . . . .	8
3.3. Carcinoma de células escamosas en la cabeza (Riffat et al., 2015) . . . . .	9
3.4. Valores horarios del UVI en días claros de verano en la Ciudad de San Lorenzo durante el periodo 2006-2009 . . . . .	11
3.5. Crecimiento económico de Paraguay en términos del PIB, proyectado al 2100 (CEPAL, 2014) . . . . .	13
3.6. Estimaciones máximas de proyecciones del TOC de primavera para el periodo 2006-2100 en tres ciudades de Sudamérica . . . . .	14
5.1. Distribución de la tasa de mortalidad específica por cáncer de piel por grupos de edad y según diferentes cohortes de nacimiento . . . . .	28
5.2. Expresión matemática de la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel para cuatro periodos de observación: 2000-2004, 2005-2009, 2010-2014 y 2015-2019 . . . . .	29
5.3. Valores diarios del contenido total de ozono en Asunción, Paraguay . . . . .	30
5.4. Valores medios mensuales del contenido total de ozono en Asunción, Paraguay	31
5.5. Valores medios anuales del contenido total de ozono en Asunción, Paraguay	31
5.6. Valores medios del contenido total de ozono en primavera en Asunción, Paraguay . . . . .	32
5.7. Proyecciones de la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel en función de estimaciones máximas de proyecciones del TOC de primavera y del UVI a mediodía de verano en los escenarios de cambio climático RCP2.6 y RCP8.5 . . . . .	33

---

5.8. Proyecciones de la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel en función de estimaciones de proyecciones de diferencias relativas de la DOSIS-E y de la DOSIS-D en los escenarios de cambio climático RCP2.6 y RCP8.5	35
A.1. Regla ABCD para distinguir un lunar de un melanoma (MSPYBS, 2019b)	50
B.1. Las camas solares son cancerígenas (OMS, 2017)	52
B.2. Gestión de las camas solares (OMS, 2017)	53

---

## Lista de tablas

3.1. Fototipos de piel (adaptado de Fitzpatrick, 1988) . . . . .	10
3.2. Categorías de exposición a la radiación UV según valores del UVI (adaptado de OMS, 2002) . . . . .	10
3.3. Proyecciones de la incidencia de carcinomas de células escamosas ( $\Delta S_{SCC}$ ) y carcinomas de células basales ( $\Delta S_{BCC}$ ) en diferentes escenarios de cambio climático (adaptado de Piacentini et al., 2018) . . . . .	16
3.4. Casos diagnosticados con cáncer de piel durante la XIV Campaña de Prevención del Cáncer de Piel en 2016 (adaptado de Giardina, 2017) . . . . .	17
3.5. Casos diagnosticados con cáncer de piel durante la XV Campaña de Prevención del Cáncer de Piel en 2017 (adaptado de Giardina, 2018) . . . . .	17
3.6. Muertes estimadas por cáncer de piel a nivel global en el año 2000 (adaptado de Lucas et al., 2006) . . . . .	18
3.7. Muertes estimadas por cáncer de piel a nivel global y en la Región de las Américas en el año 2016 (adaptado de OMS, 2018) . . . . .	18
3.8. Muertes por cáncer de piel registradas en Paraguay durante el periodo 2010-2014 (adaptado de MSPYBS, 2017) . . . . .	18
4.1. Número de muertes por cáncer de piel en Paraguay según grupos de edad en periodos de observación de cinco años: 2000-2004, 2005-2009, 2010-2014 y 2015-2019 . . . . .	20
4.2. Población mundial standard (Ahmad et al., 2001) . . . . .	22
4.3. Coordenadas de Asunción y São Paulo . . . . .	24

---

5.1. Tasa específica de mortalidad por cáncer de piel en Paraguay según grupos de edad en periodos de observación de cinco años, mostrada en un diagrama de Lexis . . . . .	27
5.2. Costos económicos estimados de la mortalidad por cáncer de piel . . . . .	29

---

---

# Lista de abreviaturas

AVPP	Años de vida potencialmente perdidos
BCC	Basal cell carcinoma
CFC	Clorofluorocarbonos
CONACYT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
DIGIES	Dirección General de Información Estratégica en Salud
DOSIS-D	Dosis de vitamina D
DOSIS-E	Dosis eritémica
DU	Dobson unit
IARC	International Agency for Research on Cancer
IPCC	The Intergovernmental Panel on Climate Change
MM	Malignant melanoma
MSPYBS	Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social
NMSC	Non melanoma skin cancer
OMI	Ozone Monitoring Instrument
OMS	Organización Mundial de la Salud
PIB	Producto Interno Bruto
RCP	Representative concentration pathways
SCC	Squamous cell carcinoma
SED	Standard erythema dose
TOC	Total ozone content
UC	Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción
UTC	Coordinated universal time
UV	Radiación ultravioleta
UVI	Ultraviolet Index

---

# Resumen

La exposición solar ultravioleta (UV) es el principal factor de riesgo de cáncer de piel. Existen evidencias de que la incidencia del cáncer de piel se incrementará debido al cambio climático. En este trabajo se ha analizado la variación de la tasa específica de mortalidad por cáncer de piel en diferentes grupos de edad, en base a los datos del número de muertes registradas en Paraguay, que fueron proporcionados por el Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social (MSPYBS), y agrupados en cuatro periodos de observación: 2000-2004, 2005-2009, 2010-2014 y 2015-2019. El análisis mostró que al menos una persona que padece cáncer de piel, muere a los 50 años, entre 100,000 personas-año. A los 65 años o más, la tasa específica de mortalidad por cáncer de piel es superior a 30 por cada 100,000 personas-año. Se estimó que la mortalidad por cáncer de piel, durante el último periodo de observación, causó una pérdida económica de al menos US\$ 82,402,905, sin tener en cuenta los costos de morbilidad. Se halló la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel según lo recomienda la Organización Mundial de la Salud. Esta tasa fue modelada mediante un modelo de regresión de Poisson. Se realizó proyecciones de la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel en función de proyecciones de estimaciones del contenido total de ozono (TOC) y de la radiación UV, en los escenarios de bajas emisiones y de altas emisiones de gases de efecto invernadero (RCP2.6 y RCP8.5). Las proyecciones indican que la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel sería igual a 3 por cada 100,000 personas-año hacia fines del siglo XXI, de continuar con estas condiciones epidemiológicas.

**Palabras clave:** Radiación ultravioleta, contenido total de ozono, cáncer de piel, cambio climático

---

# Abstract

Ultraviolet (UV) sun exposure is the main risk factor for skin cancer. There is evidence that the incidence of skin cancer will increase due to climate change. This work has analyzed the variation in the specific mortality rate for skin cancer in different age groups, based on data on the number of deaths registered in Paraguay, which were provided by the Ministry of Public Health and Social Welfare (MSPYBS), and grouped into four observation periods: 2000-2004, 2005-2009, 2010-2014 and 2015-2019. The analysis showed that at least one person with skin cancer dies at age 50, among 100,000 person-years. At age 65 or older, the specific mortality rate from skin cancer is greater than 30 per 100,000 person-years. Skin cancer mortality, during the last observation period, was estimated to cause an economic loss of at least US\$ 82,402,905, regardless of morbidity costs. The standardized mortality rate from skin cancer was found as recommended by the World Health Organization. This rate was modeled using a Poisson regression model. Projections of the standardized skin cancer mortality rate were performed based on projections of estimates of the total ozone content (TOC) and UV radiation, in the scenarios of low emissions and high emissions of greenhouse gases (RCP2.6 and RCP8.5). Projections indicate that the standardized skin cancer mortality rate would be 3 per 100,000 person-years by the end of the 21st century, if these epidemiological conditions continue.

**Keywords:** Ultraviolet radiation, total ozone content, skin cancer, climate change

# Capítulo 1

## Introducción

La radiación solar es indispensable para el balance de energía en el planeta y también para el desarrollo de la vida en la superficie. La componente ultravioleta de la radiación solar aporta la energía suficiente para la síntesis de vitamina D en el cuerpo humano, la cual es responsable del buen metabolismo de los órganos y del desarrollo de los huesos, entre otras bondades. Sin embargo, la exposición continua y prolongada al sol, repercute en la salud humana de forma negativa ya que produce cataratas oculares y daña la piel humana a tal punto de acelerar el envejecimiento cutáneo, producir manchas en la piel, y favorecer a la aparición de formaciones tumorales, es decir cáncer de piel (OMS, 2002).

El cáncer de piel puede ser de tipo melanoma y tipo no melanoma, siendo el primer tipo el más agresivo. Sin embargo, el cáncer de piel tipo no melanoma es más frecuente y su tratamiento tiene consecuencias mutiladoras en las personas que lo padecen, además de generar pérdidas económicas importantes a la sociedad (de Souza et al., 2011).

A pesar de que el Protocolo de Montreal (1987) tuvo un éxito rotundo en la reducción de sustancias agotadoras de la capa de ozono, la cual filtra gran parte de la radiación ultravioleta solar, existen evidencias de que la incidencia del cáncer de piel aumentará considerablemente debido a los hábitos de exposición prolongada al sol y al aumento de las temperaturas como consecuencia del cambio climático (Piacentini et al., 2018). Estudios experimentales sobre ratones indican que la carcinogénesis de la radiación ultravioleta aumenta hasta en 7 % en ambientes con temperatura promedio de 32°C (Freeman y Knox, 1964). En humanos, el incremento en la incidencia de formaciones tumorales se da hasta en un 5 % en temperaturas similares o superiores (van der Leun y de Gruijl, 2002).

Este trabajo pretende encontrar una relación entre la tasa de mortalidad por cáncer de piel y una variable climática importante, el contenido total de ozono, que influye en la irradiancia ultravioleta y sus efectos acumulativos en el cuerpo humano: la dosis eritémica y la dosis ultravioleta que produce vitamina D, según distintos escenarios de cambio climático.

Los resultados de este trabajo pueden ser utilizados para generar interés en el estudio del cambio climático y sus efectos en la salud y también para formular políticas de salud pública para la prevención del cáncer de piel y a la reducción de la tasa de mortalidad que ocasiona esta enfermedad en el país.

## **1.1. Planteamiento y formulación del problema**

El cáncer de piel es un problema que atañe a la salud pública y a la sociedad en general. Su tratamiento conlleva a elevados costos económicos y su prevención no está reglamentada por el Estado (de Souza et al., 2011). Tan sólo entre los años 2008 y 2011, fueron diagnosticados 280 casos de cáncer de piel en la Cátedra de Dermatología de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad Nacional de Asunción, siendo más frecuentes los casos de cáncer de piel tipo no melanoma. Debido a que la población de Paraguay es mayormente joven y considerando los efectos acumulativos de la dosis ultravioleta y los hábitos culturales de exposición prolongada al sol, la probabilidad de ocurrencia del cáncer de piel es alta en los adultos mayores de 50 años (Ramos et al., 2012). Penosamente, el MSPYBS (2019a) no posee una base de datos completa de incidencia de cáncer de piel a nivel país, lo que dificulta el estudio del comportamiento de la enfermedad a nivel poblacional.

Como la dosis ultravioleta que recibe el cuerpo humano depende fuertemente del contenido total de ozono en la atmósfera terrestre, se requiere el análisis de este último, ya que su variación está relacionada con el cambio climático (Meul et al., 2016). De hecho, se espera que los niveles del contenido total de ozono aumenten considerablemente en Sudamérica hasta el fin del siglo XXI. A pesar de ello, la radiación solar ultravioleta seguirá repercutiendo en el aumento de la incidencia del cáncer de piel (Corrêa et al., 2019).

De este modo, considerando la alta disponibilidad de radiación solar ultravioleta que caracteriza al clima de Paraguay (Coronel y More, 2015), es necesario brindar un mayor nivel de información sanitaria para mejorar la percepción del riesgo de enfermedades dermatológicas como el cáncer de piel, lo que llevaría a adoptar hábitos más saludables de fotoprotección

(Rumbo-Prieto, 2019). Como la enfermedad en cuestión puede ser fatal si no es detectada a tiempo, y teniendo en cuenta que se deriva de la exposición solar prolongada, principalmente, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Es posible analizar la tasa de mortalidad por cáncer de piel en función de estimaciones de proyecciones del contenido total de ozono en diferentes escenarios de cambio climático en Paraguay? La respuesta será, sin duda alguna, un aporte importante para mejorar el conocimiento del riesgo en lo que respecta a salud pública para la prevención del cáncer de piel.

## **1.2. Justificación**

El cáncer de piel es una enfermedad que afecta a gran parte de la población mundial, y que corresponde al grupo de las enfermedades no transmisibles (OMS, 2002). La reducción de este tipo de enfermedades forma parte de la planificación del servicio de salud pública. Al respecto, Paraguay, como miembro activo de las Naciones Unidas, se comprometió en el cumplimiento de los objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Estos objetivos de desarrollo sostenible son 17 y, junto con 169 metas, están enfocados en desarrollar procesos de adaptación al cambio climático y mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. El objetivo 3 es garantizar una vida sana y promover el bienestar de todas las personas. A su vez, una de las metas de este objetivo es reducir a un tercio la mortalidad prematura por enfermedades no transmisibles como el cáncer de piel, mediante su prevención y tratamiento, con enfoque inclusivo y con igualdad de género (United Nations, 2015).

Entonces, es responsabilidad del Estado, junto con la Academia y otras organizaciones, crear los mecanismos de reducción de las tasas de incidencia y de mortalidad de las enfermedades, sean transmisibles o no. El cáncer de piel, si bien representa un pequeño porcentaje frente a otros tipos de cáncer, debe ser prevenido y tratado, considerando que en casos graves conlleva a la muerte del individuo que lo padece.

Actualmente, en Paraguay no existe una base de datos completa que registre la cantidad de casos de cáncer de piel a nivel país. Al respecto, el MSPYBS (2019a) se encuentra trabajando con la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés), para el desarrollo de un Modelo de Registro de Cáncer Poblacional en Paraguay, ya que sólo se dispone de una base de datos de muertes por cáncer de piel, pero no de casos diagnosticados. Este modelo ofrecerá datos sobre incidencia, mortalidad y prevalencia del

cáncer. Sin duda, esta iniciativa promoverá la formulación de estrategias para la prevención del cáncer de piel.

Debido a que el cambio climático es un fenómeno de escala global que impacta diversos sectores, entre ellos el de la salud, el comportamiento del cáncer de piel en la población también será afectado por él, ya que el aumento de las temperaturas favorece el hábito de exponerse al sol durante más tiempo. Esta exposición a la radiación ultravioleta solar se hace más peligrosa en ambientes más cálidos (Piacentini et al., 2018). La falta de conocimiento del riesgo de la excesiva exposición solar, principalmente en nuestro país, es un factor muy importante en el aumento de la incidencia del cáncer de piel (Cuellar, 2015).

El comportamiento del contenido total de ozono en la atmósfera en los escenarios climáticos de bajas y altas emisiones de gases de efecto invernadero (RCP2.6 y RCP8.5), repercutirá en diferentes niveles de irradiancia ultravioleta en superficie, por lo que la incidencia del cáncer de piel también variaría en cada escenario. El estudio de la mortalidad por cáncer de piel en diversos escenarios de cambio climático será muy útil para construir políticas públicas para su reducción, especialmente en lo que se refiere a educación ambiental.

Asimismo, una información clara y sencilla sobre la actual tasa de mortalidad por cáncer de piel y su proyección en diferentes escenarios de cambio climático hasta el fin del siglo XXI, repercutirá en la elaboración y aplicación de políticas de salud pública como medida de adaptación al cambio climático para la reducción de la tasa de mortalidad por cáncer de piel.

## Capítulo 2

# Hipótesis y Objetivos

### 2.1. Hipótesis

A modo de hipótesis, se asume que la tasa de mortalidad por cáncer de piel aumentará considerablemente en Paraguay debido a los altos valores de radiación solar ultravioleta proyectados en diferentes escenarios de cambio climático, a pesar del aumento gradual del contenido total de ozono en la atmósfera en la región. De este modo, la alta dosis ultravioleta eritémica seguiría ocasionando problemas de salud. Los excesos en la exposición solar y la vejez serán factores que seguirán incidiendo en el aumento de la tasa de mortalidad por cáncer de piel.

## **2.2. Objetivo general**

1. Analizar la tasa de mortalidad por cáncer de piel en diferentes escenarios de cambio climático en Paraguay

## **2.3. Objetivos específicos**

1. Determinar la tasa de mortalidad por cáncer de piel en Paraguay
2. Estimar el costo económico de la mortalidad por cáncer de piel en Paraguay
3. Proyectar la tasa de mortalidad por cáncer de piel en función de estimaciones de proyecciones de radiación solar ultravioleta en base a escenarios climáticos del contenido total de ozono (RCP2.6 y RCP8.5) en Paraguay

# Capítulo 3

## Marco teórico

### 3.1. El cáncer de piel

El cáncer de piel es una enfermedad relacionada con la proliferación de células cancerosas en los tejidos cutáneos. Normalmente, el cáncer de piel se clasifica en tipo melanoma cutáneo y en tipo no melanoma. El melanoma cutáneo (MM, por sus siglas en inglés) es un cáncer de piel maligno que se origina en unas células llamadas melanocitos, las cuales son responsables de la pigmentación de la piel (Figura 3.1). Por otro lado, el cáncer de piel tipo no melanoma (NMSC, por sus siglas en inglés) normalmente se manifiesta en forma de carcinoma de células basales (BCC, por sus siglas en inglés) (Figura 3.2) y carcinoma de células escamosas (SCC, por sus siglas en inglés) (Figura 3.3). Generalmente, el MM es poco frecuente pero muy peligroso debido a su capacidad de expandirse a otras zonas del cuerpo, mientras que el NMSC es más frecuente. Estos tipos de cáncer aparecen, por lo general, en áreas del cuerpo expuestas al sol como el rostro y la cabeza, pero también pueden aparecer en otras partes menos expuestas como las piernas y las plantas de los pies (Tavakolpour et al., 2017).

### 3.2. Factores de riesgo

De acuerdo a la OMS (2002), el principal factor de riesgo de cáncer de piel es la exposición continua y prolongada a la radiación solar ultravioleta (UV). La radiación UV representa una pequeña parte del espectro electromagnético. Se divide en tres bandas de longitudes de



Figura 3.1: Melanoma cutáneo (Arrangoiz et al., 2016)



Figura 3.2: Carcinoma de células basales en la nariz (Riffat et al., 2015)

onda de la siguiente manera: UVA (400-315 nm), UVB (315-280 nm) y UVC (280-100 nm). La radiación UVC es absorbida completamente por la atmósfera, mientras que la radiación UVB penetra hasta la superficie pero es atenuada hasta en un 90 % por el ozono, el vapor de agua, el oxígeno y el dióxido de carbono. Finalmente, la atmósfera se presenta transparente ante el paso de la radiación UVA, que llega hasta la superficie en su totalidad.

Otro factor de riesgo es el color de la piel. Los individuos de piel muy blanca presentan mayores enfermedades de la piel que los de piel más oscura (Diffey, 1991). Esto se debe a la menor pigmentación de la piel blanca, que la hace más vulnerable a la radiación ultravioleta.



Figura 3.3: Carcinoma de células escamosas en la cabeza (Riffat et al., 2015)

Además, los siguientes factores también favorecen la aparición de cáncer de piel: los lunares expuestos al sol, la vejez, alteraciones genéticas y del sistema inmunológico, la exposición a elevadas temperaturas (Piacentini et al., 2018), la exposición a contaminantes atmosféricos (aerosoles). Algunos estudios indican que las emisiones del tráfico pueden causar un aumento de las lesiones faciales hasta en un 20 % (Vierkötter et al., 2010). Aún más, la probabilidad de desarrollo de melanoma en adultos jóvenes es alta si durante la infancia tuvieron quemaduras solares severas (Tatalovich et al., 2006).

### 3.3. Medición del principal factor de riesgo

A pesar de que la radiación UV implica riesgos para la salud, también es beneficiosa en pequeñas dosis, ya que estimula la producción de vitamina D en el cuerpo humano (Webb y Holick, 1988). Los efectos acumulativos de la dosis ultravioleta eritémica (con capacidad de producir eritema o enrojecimiento de la piel), normalmente se miden en una escala adimensional, denominada dosis eritémica standard (SED, por sus siglas en inglés), donde una unidad es igual a  $100 [Jm^{-2}]$  (Diffey et al., 1997). En efecto,  $1.08 \text{ SED}$  ( $108 Jm^{-2}$ ) son suficientes para la producción de vitamina D durante el día (Moehrle et al., 2003). En la Tabla 3.1 se presenta la clasificación de los fototipos de piel según su reacción a la radiación ultravioleta, junto con los valores de SED (Fitzpatrick, 1988).

Tabla 3.1: Fototipos de piel (adaptado de Fitzpatrick, 1988)

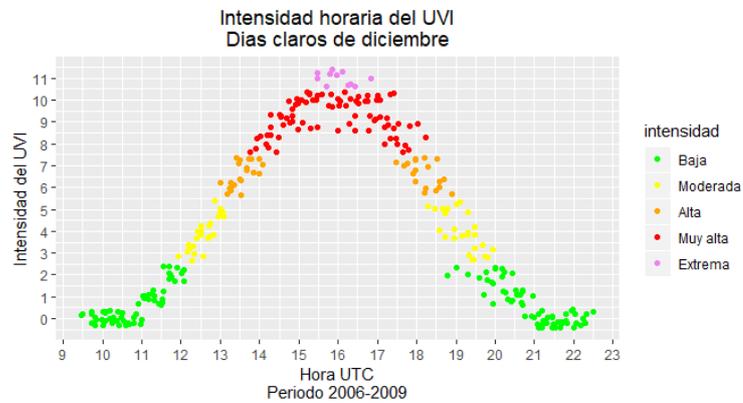
Fototipo	Color	Se quema	Se broncea	SED
I	Blanca	Sí	No	2.0-3.0
II	Blanca	Sí	Mínimo	2.5-3.5
III	Blanca	Sí	Sí	3.0-5.0
IV	Blanca	No	Sí	4.5-6.0
V	Mulata	No	Sí	6.0-10.0
VI	Negra	No	Sí	10.0-20.0

Por otro lado, se recomienda la utilización del Índice Ultravioleta (UVI, por sus siglas en inglés), el cual es un instrumento de muy fácil comprensión que mide la intensidad de la radiación UV con capacidad de producir eritema en forma de valores enteros adimensionales agrupados en diferentes categorías de exposición (una unidad del UVI es igual a  $25 [mWm^{-2}]$ ). Las distintas categorías de exposición a la radiación UV de acuerdo a los valores del UVI pueden observarse en la Tabla 3.2.

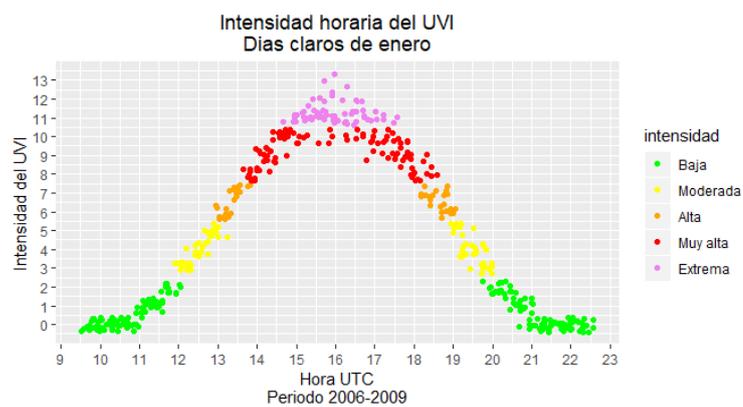
Un estudio realizado durante el periodo 2006-2009 (Delgado, 2018), mostró que en la ciudad de San Lorenzo (Gran Asunción), los valores del UVI en días claros son muy elevados durante el verano. En la Figura 3.4 se muestra la variación horaria del UVI en días claros en los meses de verano (diciembre, enero y febrero), cuyos valores son superiores a 11 unidades (categoría de exposición extremadamente alta según la Tabla 3.2) entre las 15 y las 17 UTC.

Tabla 3.2: Categorías de exposición a la radiación UV según valores del UVI (adaptado de OMS, 2002)

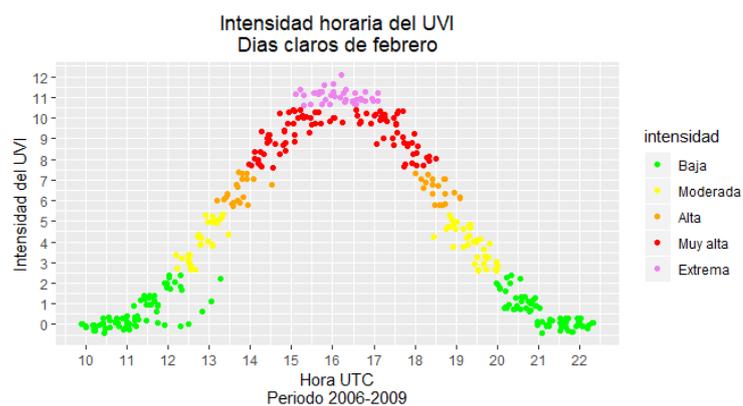
Categoría de exposición	Rango
Baja	$UVI < 2$
Moderada	$3 < UVI < 5$
Alta	$6 < UVI < 7$
Muy alta	$8 < UVI < 10$
Extrema	$UVI > 11$



(a) Diciembre



(b) Enero



(c) Febrero

Figura 3.4: Valores horarios del UVI en días claros de verano en la Ciudad de San Lorenzo durante el periodo 2006-2009: a) Diciembre; b) Enero y c) Febrero (Delgado, 2018)

### **3.4. El cambio climático y el cáncer de piel**

El cambio climático es un fenómeno global que tiene repercusiones negativas en la salud humana. El cambio de los patrones de precipitación y de temperatura, generará un aumento de las enfermedades vectoriales como el dengue y la malaria, así también un aumento de las enfermedades dermatológicas como el cáncer de piel (Kaffenberger et al., 2017). Si bien el proceso de agotamiento del ozono es diferente al proceso del cambio climático, están bien relacionados (Meul et al., 2016). De hecho, algunas sustancias que agotan el ozono (CFC-11 y CFC-12), son también gases de efecto invernadero (Bournay, 2007). Esto implica que el análisis de los efectos de la radiación ultravioleta sobre la salud humana, debe estar contemplado en un contexto de cambio climático.

Además de la exposición al sol, existen otros factores que incidirán en el aumento del cáncer de piel, como la mejora de la calidad de vida que llevará a las personas a tomar hábitos de exposición prolongada al sol como la práctica de actividades recreativas al aire libre sin medidas de fotoprotección, debido al aumento de las temperaturas (Diffey, 2003).

Normalmente los países desarrollados experimentan altas tasas de mortalidad por cáncer de piel debido a que sus habitantes se exponen a altos valores de irradiancia ultravioleta para mantener la piel bronceada por razones socioculturales de *status* social. Esta práctica voluntaria de bronceado es cada vez más común en adolescentes (Niu et al., 2018). La población de Paraguay también experimenta estas prácticas de bronceado voluntario (Ramos et al., 2012). De este modo, la práctica del bronceado es también un factor de riesgo relacionado al crecimiento económico. Al respecto, un estudio de la CEPAL (2014) indica que Paraguay experimentaría un crecimiento de la economía nacional en términos del PIB de más de US\$ 200,000,000 para el año 2100 (Figura 3.5).

### **3.5. Proyecciones del contenido total de ozono y de la radiación ultravioleta en diferentes escenarios de cambio climático en Sudamérica**

Si bien la concentración de ozono en la atmósfera se recuperará casi por completo a mitad del siglo XXI (Bais et al., 2011), dicha recuperación no impedirá que la incidencia del

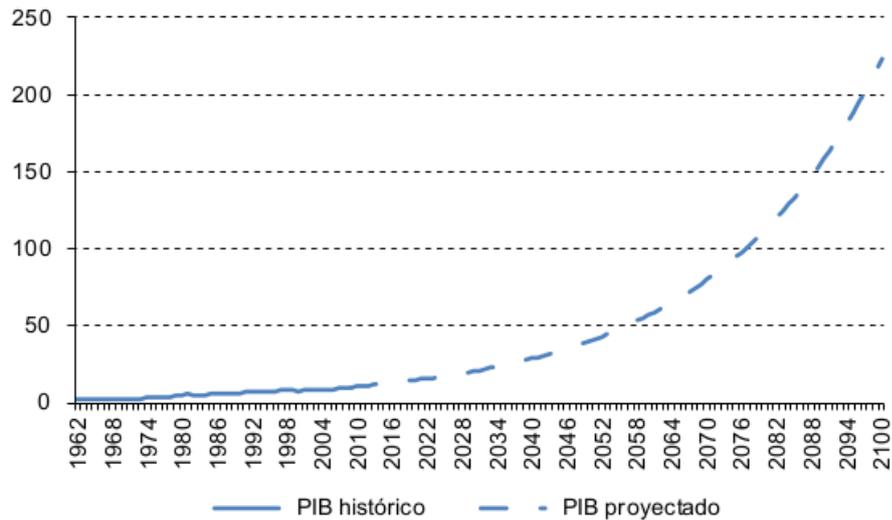


Figura 3.5: Crecimiento económico de Paraguay en términos del PIB, proyectado al 2100 (CEPAL, 2014)

cáncer de piel aumente (Corrêa et al., 2019). Al respecto, en la Figura 3.6 se muestra las estimaciones máximas de proyecciones del contenido total de ozono (TOC, por sus siglas en inglés) de primavera para el periodo 2006-2100 en tres ciudades de Sudamérica: São Paulo, Porto Alegre y Buenos Aires (Corrêa et al., 2019), en dos escenarios de cambio climático de altas y bajas emisiones de gases de efecto invernadero, denominados *Trayectorias de Concentración Representativas* (RCPs, por sus siglas en inglés), los cuales fueron adoptados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y publicados en su Quinto Informe de Evaluación (Fifth Assessment Report) (Stocker et al., 2013). Los RCPs están definidos según las mediciones de emisiones de gases de efecto invernadero de origen antropogénico. Los efectos de estas emisiones resultan en forzantes radiativas, medidas en  $Wm^{-2}$  (Stocker et al., 2013). Volviendo a la Figura 3.6, es muy interesante observar que el TOC aumentaría más en el escenario de altas emisiones (RCP8.5) que en el escenario de bajas emisiones (RCP2.6). Además, Corrêa et al. (2019) estiman que para la ciudad de São Paulo, los valores máximos del UVI a mediodía en verano irían en descenso de acuerdo con el aumento del TOC, con relación al valor máximo de referencia igual a 15.2 (categoría extremadamente alta según la Tabla 3.2), promediado en el periodo 2006-2015. Hacia fin de siglo, el UVI podría descender, de acuerdo a los RCP2.6 y RCP8.5, entre 2.6 % y 3.5 %, respectivamente. Con relación a los efectos acumulativos de la dosis ultravioleta, estos autores señalan que la dosis eritémica disminuiría, de acuerdo a los RCP2.6 y RCP8.5, entre

2 % y 4 %, con relación a los altos valores actuales ( $\approx 7kJm^{-2}$ ), y en el caso de la dosis ultravioleta que produce vitamina D, entre 2 % y 5 %, respectivamente.

Debido a que la problemática del ozono se ha ido solucionando lenta pero progresivamente, es necesario pensar en otros factores que influyen en el aumento de la incidencia del cáncer de piel, afectados por el cambio climático, como la cultura y la educación ambiental (Bharath y Turner, 2009). En Paraguay, la alta disponibilidad de radiación solar durante todo el año, más la falta de conocimiento del riesgo de cáncer de piel, hará que la incidencia del cáncer de piel en la población aumente y produzca más muertes prematuras (Coronel y More, 2015). Al respecto, un estudio indica que la población paraguaya será afectada en gran medida por las enfermedades dermatológicas relacionadas al cambio climático, entre ellas el cáncer de piel (Cuellar, 2015). Por otro lado, a pesar de tal disponibilidad de radiación solar, la falta de exposición solar también podría incidir fuertemente en el aumento de otras enfermedades no transmisibles relacionadas a la deficiencia de vitamina D como la diabetes, la osteoporosis y la obesidad (Gorman et al., 2017).

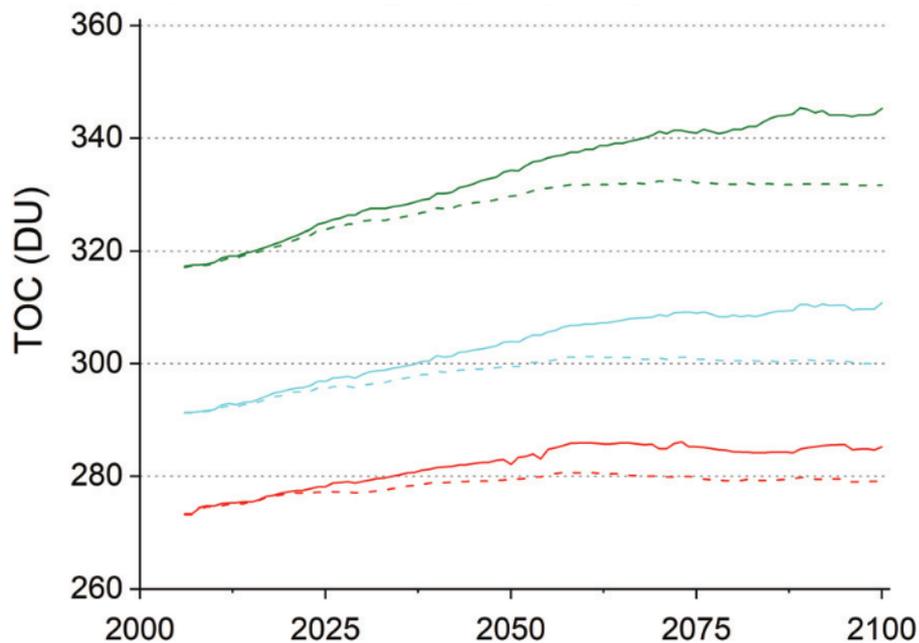


Figura 3.6: Estimaciones máximas de proyecciones del TOC de primavera para el periodo 2006-2100 en tres ciudades de Sudamérica: São Paulo (en color rojo), Porto Alegre (en color celeste) y Buenos Aires (en color verde). Las líneas punteadas muestran el TOC en el escenario de bajas emisiones (RCP2.6) y las líneas sólidas muestran el TOC en el escenario de altas emisiones (RCP8.5) (adaptado de Corrêa et al., 2019)

### **3.6. Convenios sobre el cuidado del clima y la prevención del cáncer de piel**

Uno de los protocolos más importantes que ayudó a la reducción de la tasa de incidencia del cáncer de piel a nivel global es el Protocolo de Montreal, firmado en 1987. Gracias a este protocolo, la reducción de las emisiones de sustancias agotadoras de la capa de ozono ha favorecido a la recuperación de este importante gas que atenúa en gran medida la radiación ultravioleta. Si este convenio no hubiera existido, se estima que el 17 % de la columna de ozono promediada globalmente hubiera sido destruido en el 2020, y el 67 % habría sido destruido hacia 2065 en comparación con 1980 (Newman et al., 2009).

Por otro lado, durante la Cumbre de la Tierra celebrada en Brasil en 1992, se creó la Agenda 21, en que se estableció como una de las prioridades el estudio de los efectos de la radiación ultravioleta sobre la salud humana, como consecuencia del agotamiento de la capa de ozono (United Nations, 1993). Por su parte, la OMS (2008) a través de los Objetivos de Desarrollo del Milenio, hicieron un fuerte enfoque sobre el cuidado del medio ambiente (objetivo 7), siendo una de sus metas, la reducción de las emisiones de dióxido de carbono y de sustancias agotadoras de la capa de ozono.

Otra agenda importante de las Naciones Unidas (2015) que busca la reducción de las emisiones de gases de efecto y alcanzar otros objetivos estratégicos a favor del clima es la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en la que se ha trazado objetivos de desarrollar procesos de adaptación al cambio climático y mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. Uno de esos objetivos es, precisamente, el de garantizar una vida sana y promover el bienestar de todas las personas, entre cuyas metas, se encuentra la de reducir a un tercio la mortalidad prematura por enfermedades no transmisibles como el cáncer de piel, mediante su prevención y tratamiento, con enfoque inclusivo y con igualdad de género.

### **3.7. Cifras de incidencia del cáncer de piel**

El cáncer de piel afecta a toda la población mundial y es uno de los tipos más comunes de cáncer. La OMS (2002) estima que cada año y a nivel global, ocurren entre 2 y 3 millones de casos de NMSC y 132,000 casos de MM.

De acuerdo con Piacentini et al. (2018), el aumento de la incidencia del NMSC no sólo está relacionado a la exposición solar UV sino también al aumento de las temperaturas, ya que la capacidad carcinogénica de la radiación UV se ve potenciada con la exposición a altas temperaturas. En la Tabla 3.3 puede observarse el porcentaje de aumento de incidencia de SCC y BCC, según los escenarios de cambio climático RCPs.

Tabla 3.3: Proyecciones de la incidencia de carcinomas de células escamosas ( $\Delta S_{SCC}$ ) y carcinomas de células basales ( $\Delta S_{BCC}$ ) en diferentes escenarios de cambio climático (adaptado de Piacentini et al., 2018)

Escenario climático	$\Delta T(^{\circ}C)^a$	$\Delta S_{SCC}(\%)$	$\Delta S_{BCC}(\%)$
RCP2.6	1.00	5.8	2.8
RCP4.5	1.75	10.4	4.9
RCP6.0	2.31	13.8	6.5
RCP8.5	3.50	21.4	9.9

<sup>a</sup> Proyecciones de aumento de temperatura del IPCC (2013)

Durante la XIV Campaña de Prevención del Cáncer de Piel, llevada a cabo en el mes de noviembre del año 2016, dermatólogos de la Sociedad Paraguaya de Dermatología, junto con el apoyo del MSPYBS, la Universidad Nacional de Asunción (UNA), la Universidad Nacional de Itapúa (UNI), la Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción (UC) y el Instituto de Previsión Social (IPS), brindaron atención médica gratuita a más de mil personas en varios hospitales y centros asistenciales del país. En esta campaña, se diagnosticó 42 casos de cáncer de piel, tal como puede observarse en la Tabla 3.4. En el mes de noviembre del año siguiente (2017), se realizó la XV Campaña de Prevención del Cáncer de Piel. Esta vez, se diagnosticó 56 casos de cáncer de piel, tal como puede observarse en la Tabla 3.5. Los dermatólogos mostraron su preocupación por el aumento continuo de los casos de cáncer de piel en el país. Durante la atención médica, se realizó conferencias sobre el cuidado de la piel y se mencionó los riesgos de una exposición indebida al sol, y de esa manera motivar hábitos saludables de exposición solar.

Tabla 3.4: Casos diagnosticados con cáncer de piel durante la XIV Campaña de Prevención del Cáncer de Piel en 2016 (adaptado de Giardina, 2017)

Tipo de cáncer de piel	Casos
MM	5
BCC	33
SCC	4
Total	42

Tabla 3.5: Casos diagnosticados con cáncer de piel durante la XV Campaña de Prevención del Cáncer de Piel en 2017 (adaptado de Giardina, 2018)

Tipo de cáncer de piel	Casos
MM	4
BCC	48
SCC	4
Total	56

### **3.8. Cifras de mortalidad por cáncer de piel**

A nivel global, las muertes por cáncer de piel debido a la exposición solar han ido en aumento en las últimas décadas, y es el MM la principal causa de muerte (Lucas et al., 2006). De acuerdo con la Tabla 3.6, a nivel global, el número de muertes por cáncer de piel en el año 2000 fue de 60,000. Un estudio más reciente de la OMS (2018) estima que el cáncer de piel provocó la muerte de 113,000 personas en el año 2016 a nivel global, entre las cuales, 62,000 murieron a consecuencia de MM y 51,000 a causa de NMSC. Por otro lado, en la Región de las Américas, las muertes por cáncer de piel ascendieron a 28,000 en el mismo año, tal como puede observarse en la Tabla 3.7. En Paraguay, durante el periodo 2010-2014, el MSPYBS (2017), registró 333 muertes por cáncer de piel. De acuerdo a la Tabla 3.8, 126 mujeres y 207 hombres perdieron la vida a causa de la enfermedad en el periodo mencionado. De acuerdo a estas cifras, el cáncer de piel provoca un número importante de muertes prematuras que podrían prevenirse mediante la detección temprana y el tratamiento oncológico adecuado.

Lo preocupante es que estas cifras seguirían en aumento, ya que hasta el momento, no existen programas de educación ambiental legalmente establecidos que ayuden a la reducción de la incidencia y de la mortalidad de la enfermedad (de Souza et al., 2011).

Tabla 3.6: Muertes estimadas por cáncer de piel a nivel global en el año 2000 (adaptado de Lucas et al., 2006)

Tipo de cáncer de piel	Muertes estimadas
MM	58,645 a 32,581
SCC	9,474 a 6,767
BCC	2,921 a 1,623
Total	60,000

Tabla 3.7: Muertes estimadas por cáncer de piel a nivel global y en la Región de las Américas en el año 2016 (adaptado de OMS, 2018)

Tipo de cáncer de piel	Global	Región de las Américas
MM	62,000	16,000
NMSC	51,000	12,000
Total	113,000	28,000

Tabla 3.8: Muertes por cáncer de piel registradas en Paraguay durante el periodo 2010-2014 (adaptado de MSPYBS, 2017)

Tipo de cáncer de piel	Mujeres	Hombres
MM	46	96
NMSC	80	111
Total	126	207

## Capítulo 4

### Metodología

Primeramente, se obtuvo el número de muertes por cáncer de piel a través de la Dirección General de Información Estratégica en Salud (DIGIES) del Ministerio de Salud Pública y Bienestar social (MSPYBS), ocurridas en todo el territorio nacional y colectadas a través de las diferentes regiones sanitarias del MSPYBS. Los datos fueron organizados por grupos de edad (que van de 0-4, 5-9, ..., 60-65, 65+ años) y periodos de observación de cinco años: 2000-2004, 2005-2009, 2010-2014 y 2015-2019, según puede observarse en la Tabla 4.1. Posteriormente se analizó la distribución de la tasa de mortalidad específica por cáncer de piel según grupo de edad y periodo de observación.

Se define la tasa específica de mortalidad por edad como la razón entre el número de muertes registrado en un determinado grupo etario y la población del mismo grupo etario durante el año intermedio del periodo de observación, multiplicada por la longitud del periodo (5 años), y expresada por cada 100,000 personas-año (Breslow y Day, 1980). Esta definición es expresada en la ecuación 4.1.

$$R_i = \frac{d_i}{n \times 5} \times 100,000 \quad (4.1)$$

Donde:

$R_i$  es la tasa específica de mortalidad en el grupo etario  $i$ ;

$d_i$  es el número de muertes registrado en el grupo etario  $i$  durante el periodo de observación correspondiente y;

$n$  es la población de personas en el grupo etario registrada en el año intermedio del periodo de observación correspondiente.

Tabla 4.1: Número de muertes por cáncer de piel en Paraguay según grupos de edad en periodos de observación de cinco años: 2000-2004, 2005-2009, 2010-2014 y 2015-2019

Grupo etario	Periodo de observación			
	2000-2004	2005-2009	2010-2014	2015-2019
0-4	0	2	0	0
5-9	0	0	0	0
10-14	3	1	0	0
15-19	1	1	0	0
20-24	0	0	2	3
25-29	1	5	7	3
30-34	4	6	4	4
35-39	7	2	9	6
40-44	6	6	5	10
45-49	7	12	17	21
50-54	11	17	27	15
55-59	13	12	21	19
60-64	12	20	28	29
65+	139	170	215	294

*Nota.* Fuente de datos: MSPYBS (2020)

Por otro lado, se calculó los años de vida potencialmente perdidos (AVPP) de cada periodo de observación, en relación a la esperanza de vida, la cantidad de muertes por grupo etario y la edad promedio de cada grupo etario (Statistics Canada, 2008), según la ecuación 4.2:

$$AVPP = \sum d_i(L - x_i) \quad (4.2)$$

Donde:

$d_i$  = número de muertes registradas en el grupo etario  $i$

$L$  = esperanza de vida (75 años)

$x_i$  = edad media de cada grupo etario  $i$

Luego, se calculó los costos estimados de la mortalidad por cáncer de piel, multiplicando los AVPP de cada periodo de observación por el valor económico de un año de vida, estimado como tres veces el PIB per cápita del año intermedio del periodo de observación, según la OMS (2001). Los valores del PIB per cápita fueron extraídos de la base de datos del Banco Mundial (2020).

Posteriormente, se halló la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel. Para hallar dicha tasa, se multiplicó la tasa específica de mortalidad de cada grupo etario por la población mundial standard definida para cada grupo etario según puede observarse en la Tabla 4.2. La tasa estandarizada de mortalidad fue hallada mediante la suma de los productos mencionados. Se recomienda la utilización de la tasa estandarizada, ya sea de incidencia o de mortalidad, para hacer comparaciones entre las tasas estandarizadas de otros países y medir el progreso o retroceso en las medidas de prevención sanitarias (Ahmad et al., 2001).

Se halló una expresión matemática de la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel en función del periodo de observación mediante un modelo de regresión de Poisson. Este modelo permitió realizar proyecciones de la tasa estandarizada hasta fin del siglo XXI. El modelo de regresión de Poisson es normalmente utilizado en epidemiología (Diaz-Quijano, 2016), y fue considerado apto para representar tanto el comportamiento como las proyecciones de la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel. Este modelo se describe según la ecuación 4.3.

Tabla 4.2: Población mundial standard (Ahmad et al., 2001)

Grupo etario	Población mundial standard
0-4	0.0886
5-9	0.0869
10-14	0.086
15-19	0.0847
20-24	0.0822
25-29	0.0793
30-34	0.0761
35-39	0.0715
40-44	0.0659
45-49	0.0604
50-54	0.0537
55-59	0.0455
60-64	0.0372
65+	0.0296

$$Y = \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k) \quad (4.3)$$

Donde:

$Y$ : es la variable dependiente,

$\beta_i$ : son coeficientes

$x_i$ : son variables independientes

De este modo, aplicando un modelo de regresión de Poisson sobre los datos observados durante los periodos 2000-2004 al 2015-2019, se describió la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel en función del periodo de observación mediante la ecuación 4.4:

$$R_s = \exp(0.223 + 0.065 p) \quad (4.4)$$

Donde:

$R_s$ : tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel

$p$ : periodo de observación (0, 1, 2, 3, ..., 19)

$R^2 = 0.88$

Luego, se analizó la variación temporal del TOC sobre Asunción. Esto fue posible mediante las mediciones diarias del TOC de los siguientes satélites meteorológicos de la NASA (2020) sobre Asunción: Nimbus-7 (1978-1992), Meteor (1993-1994), TOMS (1996-2004) y OMI-AURA (2005-2020). Los datos diarios faltantes fueron rellenados mediante interpolación lineal. De esta manera, se graficó el comportamiento de los valores diarios, los valores medios mensuales y los valores medios anuales del TOC sobre Asunción, durante el periodo 1978-2020. Se obtuvo, además, la variación del TOC de primavera, definida como el promedio de las variaciones mensuales medias de setiembre, octubre y noviembre, durante el periodo 2000-2018.

Para realizar proyecciones de la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel en los escenarios climáticos de altas emisiones (RCP8.5) y de bajas emisiones (RCP2.6) en Asunción, se utilizaron los siguientes datos calculados por Corrêa et al. (2019) sobre São Paulo (ver pág. 12): estimaciones máximas de proyecciones del TOC de primavera y del UVI a mediodía de verano; y por otro lado, estimaciones de proyecciones de diferencias relativas de la dosis eritémica (DOSIS-E) y de la dosis de vitamina D (DOSIS-D), respecto al periodo base 2006-2015, en los dos escenarios. La razón por la que estos valores de proyecciones fueron seleccionados es porque las ciudades de Asunción y São Paulo se encuentran en latitudes medias similares, por lo que el comportamiento del TOC, del UVI y de la dosis ultravioleta (DOSIS-E y DOSIS-D) también es similar en estas dos regiones. Las coordenadas de ambas ciudades pueden observarse en la Tabla 4.3.

De este modo, utilizando modelos de regresión de Poisson sobre la proyección de la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel en función del periodo de observación, se calcularon las proyecciones de la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel en los escenarios de cambio climático RCP2.6 y RCP8.5 en Asunción, en dos casos: por un

lado, en función de estimaciones máximas de proyecciones del TOC de primavera y del UVI a mediodía de verano; y por otro otro lado, en función de estimaciones de proyecciones de diferencias relativas de la dosis eritémica (DOSIS-E) y de la dosis de vitamina D (DOSIS-D), respecto al periodo base 2006-2015, en ambos escenarios.

Tabla 4.3: Coordenadas de Asunción y São Paulo

Ciudad	Latitud	Longitud
Asunción	25°18'S	57°38'W
São Paulo	23°32'S	46°38'W

Los modelos de proyecciones de la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel en los escenarios de bajas emisiones (RCP2.6) y de altas emisiones (RCP8.5) en función de estimaciones máximas de proyecciones del TOC de primavera y del UVI a mediodía de verano, pueden observarse en la ecuación 4.5 y en la ecuación 4.6, respectivamente:

$$R_{RCP2.6} = \exp(40.807 + 0.0117x_{1,RCP2.6} - 2.891x_{2,RCP2.6}) \quad (4.5)$$

$$R_{RCP8.5} = \exp(16.717 + 0.0408x_{1,RCP8.5} - 1.848x_{2,RCP8.5}) \quad (4.6)$$

Donde:

$R_{RCP2.6}$  y  $R_{RCP8.5}$  son las tasas estandarizadas de mortalidad por cáncer de piel en los escenarios RCP2.6 y RCP8.5;

$x_1$  es el valor máximo del TOC en primavera y  $x_2$  es el valor máximo del UVI a mediodía de verano en los escenarios correspondientes.

Análogamente, las ecuaciones de las proyecciones de la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel en función de estimaciones de proyecciones de diferencias relativas de la dosis eritémica (DOSIS-E) y de la dosis de vitamina D (DOSIS-D), respecto al periodo base 2006-2015 se muestran en la ecuación 4.7 y la ecuación 4.8, respectivamente:

$$R_{RCP2.6} = \exp(0.27 - 0.22x_{3,RCP2.6} - 0.15x_{4,RCP2.6}) \quad (4.7)$$

$$R_{RCP8.5} = \exp(0.27 - 0.15x_{3,RCP8.5} - 0.025x_{4,RCP8.5}) \quad (4.8)$$

Donde:

$x_3$  y  $x_4$  son estimaciones de proyecciones de diferencias relativas de la dosis eritémica (DOSIS-E) y de la dosis de vitamina D (DOSIS-D), respecto al periodo base 2006-2015 en los escenarios correspondientes.

## Capítulo 5

### Resultados y Discusión

#### 5.1. Determinación de la tasa específica de mortalidad por cáncer de piel

En la Tabla 5.1 se observa la tasa de mortalidad específica por cáncer de piel por grupos de edad en periodos de 5 años de observación (2000-2004, 2005-2009, 2010-2014 y 2015-2019), mostrada en un diagrama de Lexis. En el grupo de edad de 50-54 años, al menos una persona que padece cáncer de piel muere entre 100,000 personas-año. Esto es lógico, ya que los efectos de la radiación ultravioleta son acumulativos y normalmente se manifiestan a una edad avanzada, según el historial de exposición solar de la persona. La tasa de mortalidad específica para una edad de 65 años o más es equivalente a más de 30 por cada 100,000 personas-año.

La distribución de la tasa de mortalidad específica por cáncer de piel por grupos etarios puede observarse mejor en la Figura 5.1 (elaborada a partir de la Tabla 5.1). Las cohortes más antiguas (como la Cohorte 1945) muestran tasas de mortalidad específica más elevadas. Un caso especial se refleja en la tasa de mortalidad específica de la Cohorte 1975. En esta cohorte más joven, al parecer existen otros factores más determinantes que la exposición solar, como la predisposición genética a la formación de tumores malignos de la piel (Ransohoff et al., 2016). Por debajo de los 50 años, la tasa específica es menor a 1 por cada 100,000 personas-año. Nótese que a mayor edad, mayor el riesgo de muerte por cáncer de piel.

Tabla 5.1: Tasa específica de mortalidad por cáncer de piel en Paraguay según grupos de edad en periodos de observación de cinco años, mostrada en un diagrama de Lexis

Grupo etario	Periodo de observación				Cohorte
	2000-2004	2005-2009	2010-2014	2015-2019	
0-4	0.00	0.06	0.00	0.00	2015
5-9	0.00	0.00	0.00	0.00	
10-14	0.09	0.03	0.00	0.00	2005
15-19	0.03	0.03	0.00	0.00	
20-24	0.00	0.00	0.06	0.09	1995
25-29	0.05	0.21	0.25	0.10	
30-34	0.22	0.30	0.17	0.15	1985
35-39	0.43	0.11	0.46	0.26	
40-44	0.42	0.38	0.28	0.52	1975
45-49	0.57	0.86	1.09	1.21	
50-54	1.14	1.43	1.99	0.99	1965
55-59	1.74	1.30	1.85	1.46	
60-64	2.03	2.88	3.25	2.71	1955
65+	30.23	31.94	34.16	37.50	

## 5.2. Determinación de los años de vida potencialmente perdidos (AVPP) y evaluación de los costos estimados de la mortalidad por cáncer de piel

En la Tabla 5.2 puede observarse los costos económicos de la mortalidad por cáncer de piel, estimados en función de los años de vida potencialmente perdidos (AVPP) y el PIB per cápita correspondiente al año intermedio de cada periodo de observación. Nótese el aumento de los años perdidos en cada periodo. Durante los periodos 2000-2004, 2005-2009, 2010-2014 y 2015-2019 se han perdido 2,780, 3,474, 4,513 y 4,835 años, respectivamente. El costo estimado de la mortalidad por cáncer de piel durante el último periodo es de US\$ 82,402,905, casi ocho veces más que el costo estimado en el primer periodo de observación. En realidad, los costos económicos de la mortalidad por cáncer de piel están subestimados

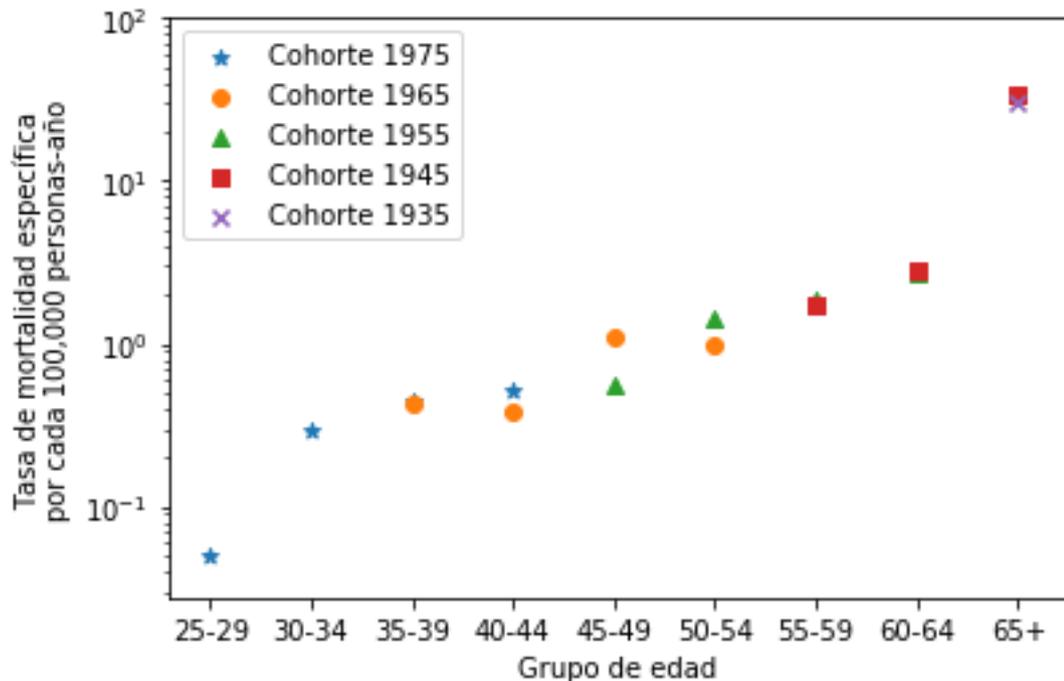


Figura 5.1: Distribución de la tasa de mortalidad específica por cáncer de piel por grupos de edad y según diferentes cohortes de nacimiento

ya que no se ha incorporado la estimación económica de los tratamientos de la enfermedad.

### 5.3. Modelación matemática de la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel

En la Figura 5.2 se observa la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel para los cuatro periodos de observación: 2000-2004, 2005-2009, 2010-2014 y 2015-2019. Nótese que para cada periodo de observación, la tasa aumenta progresivamente. Las tasas estandarizadas de mortalidad por cáncer de piel en los periodos mencionados han sido 1.23, 1.32, 1.47 y 1.48 por cada 100,000 personas-año, respectivamente. El incremento de la tasa del último periodo ha sido del 20 % en comparación con el primer periodo de observación (de 1.23 a 1.48 por cada 100,000 personas-año).

Tabla 5.2: Costos económicos estimados de la mortalidad por cáncer de piel

Periodo	AVPP	PIB per capita <sup>a</sup>	Costo (US\$) <sup>b</sup>
2000-2004	2,780	1,301	10,850,340
2005-2009	3,474	2,977	31,026,294
2010-2014	4,513	5,183	70,172,637
2015-2019	4,835	5,681	82,402,905

<sup>a</sup> Banco Mundial (2020)

<sup>b</sup> Costos de morbilidad no incluidos

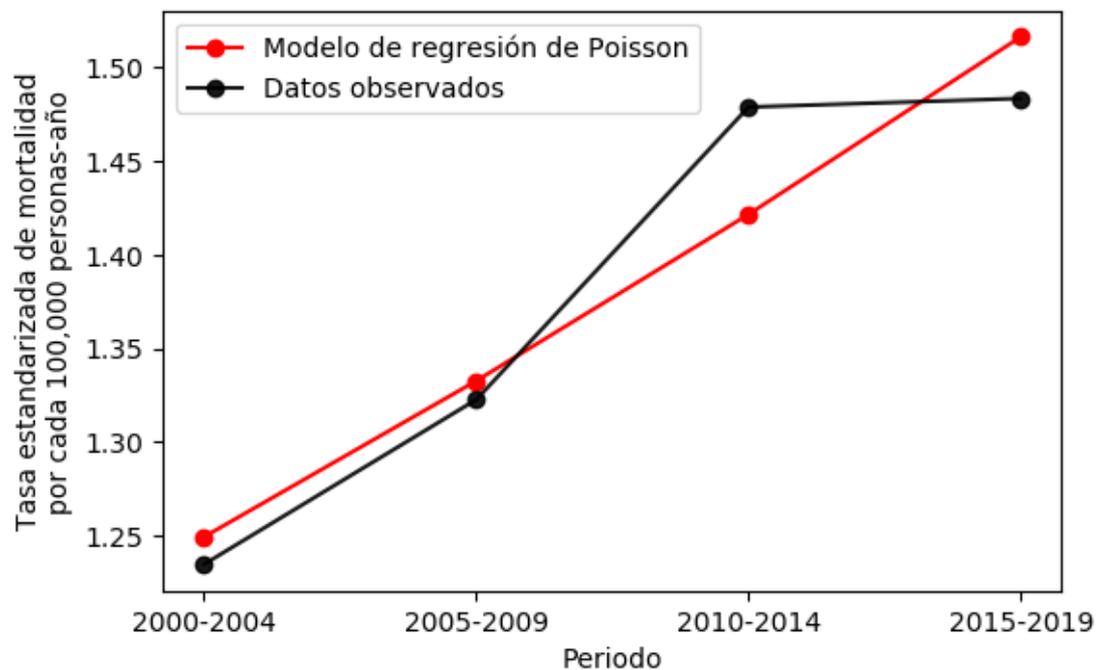


Figura 5.2: Expresión matemática de la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel para cuatro periodos de observación: 2000-2004, 2005-2009, 2010-2014 y 2015-2019

## 5.4. Análisis de la variación temporal del contenido total de ozono en Asunción

Los valores diarios (Figura 5.3), los valores medios mensuales (Figura 5.4) y los valores medios anuales (Figura 5.5) del TOC sobre Asunción han ido disminuyendo desde 1978. Esto se debe al agotamiento de la concentración de ozono a nivel global a causa de las

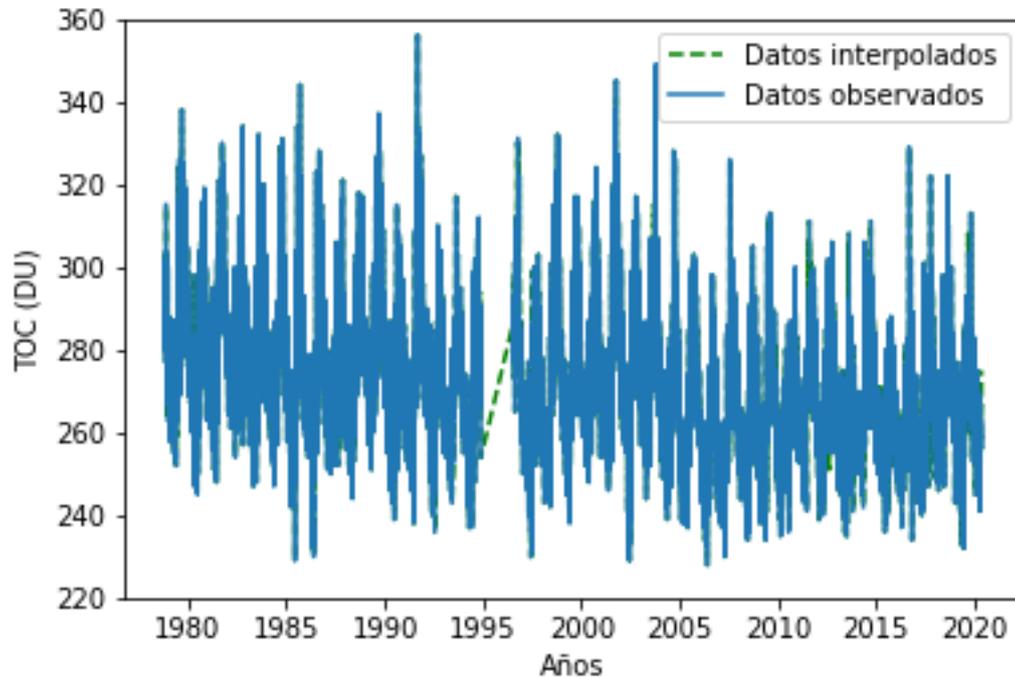


Figura 5.3: Valores diarios del contenido total de ozono en Asunción, Paraguay

emisiones de sustancias agotadoras de ozono. Sin embargo, puede observarse que los valores del TOC se van estabilizando a partir del año 2000 (gracias al Protocolo de Montreal de 1987). La media anual del TOC ha sido igual a 271 DU para el periodo 1978-2020. Por otra parte, en la Figura 5.6 se presenta la variación del TOC durante la primavera desde el año 2000 hasta el año 2018. Se observa altos valores (sobre 285 DU) durante los primeros tres años. Los valores posteriores están por debajo de 280 DU, en promedio. Se espera que los valores del TOC en primavera aumenten considerablemente en las latitudes de Asunción y São Paulo, hasta alcanzar valores medios entre 280 y 285 DU hacia fin del siglo XXI (Corrêa et al., 2019).

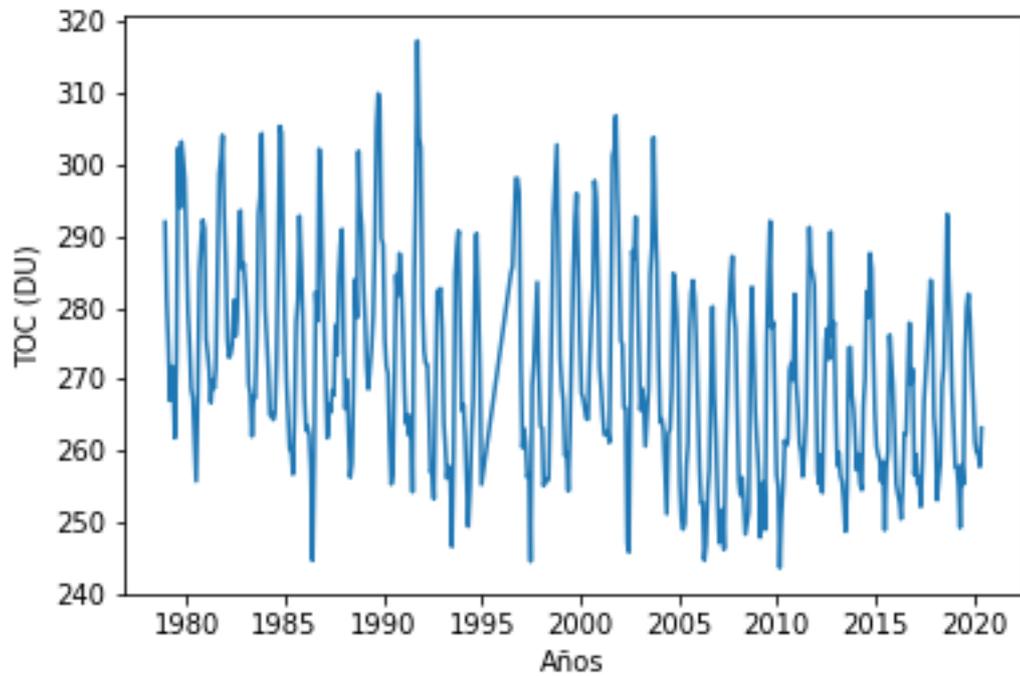


Figura 5.4: Valores medios mensuales del contenido total de ozono en Asunción, Paraguay

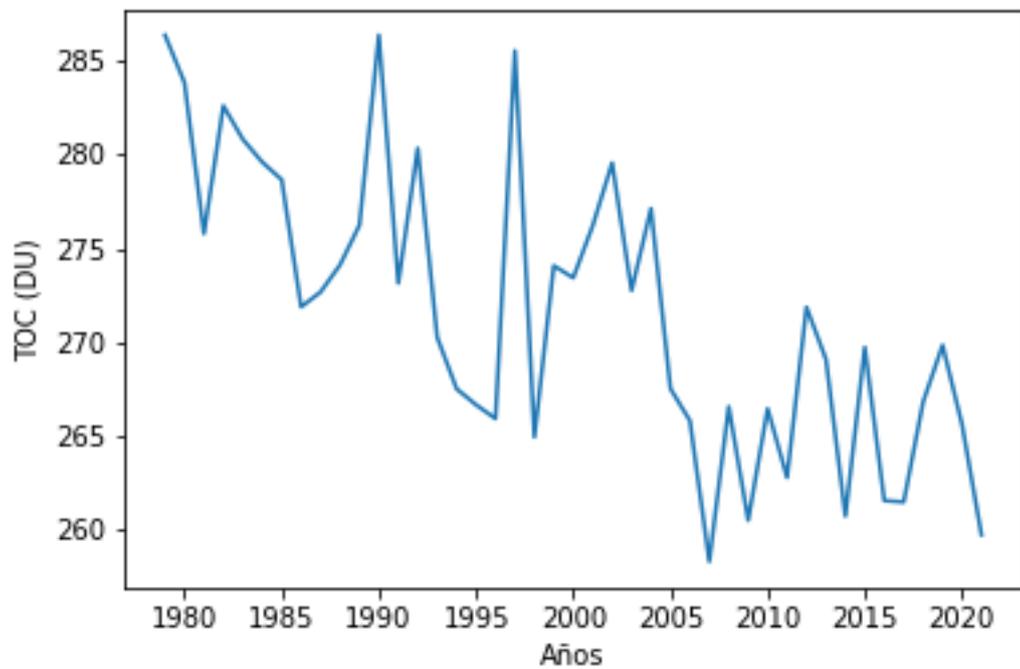


Figura 5.5: Valores medios anuales del contenido total de ozono en Asunción, Paraguay

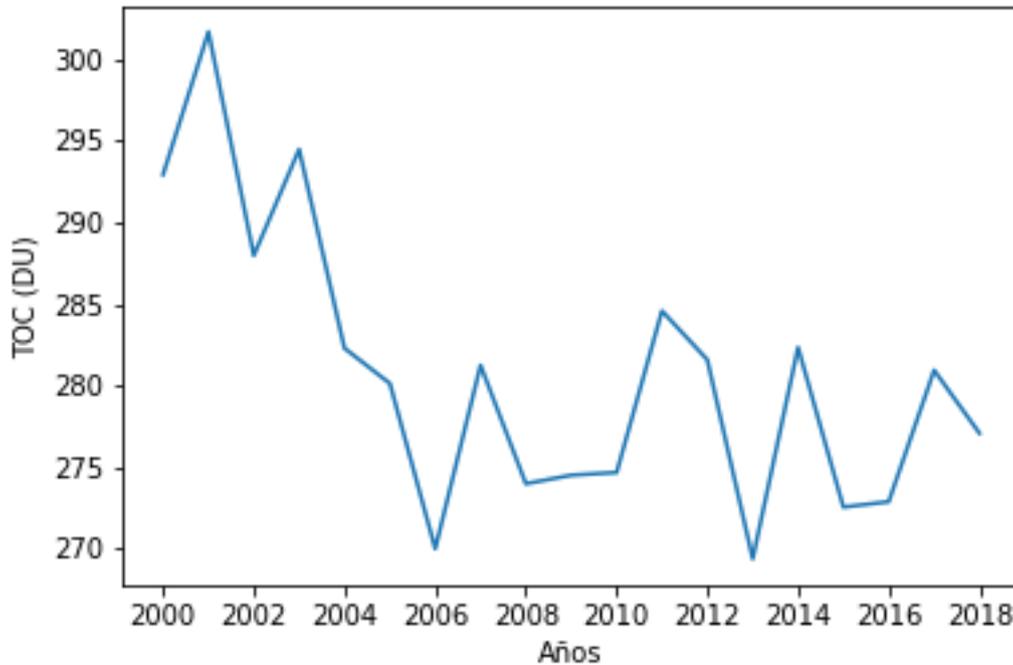


Figura 5.6: Valores medios del contenido total de ozono en primavera en Asunción, Paraguay

## 5.5. Proyecciones de la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel

En la Figura 5.7 se observa las proyecciones de la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel en función de estimaciones máximas de proyecciones del TOC de primavera y del UVI a mediodía de verano en los escenarios de cambio climático RCP2.6 y RCP8.5 en Asunción, Paraguay, junto con las proyecciones del modelo original de Poisson mostrado anteriormente en la ecuación 4.4 en base a los datos observados.

Según estas proyecciones, la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel aumentaría en todos los escenarios. En el escenario de altas emisiones (RCP8.5), la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel aumentaría hasta 3 hacia el 2050, y hasta 3.26 hacia el 2100 (por cada 100,000 personas-año). En el escenario de bajas emisiones (RCP2.6), la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel aumentaría hasta 2.75 hacia el 2050, y hasta 3.67 hacia el 2100 (por cada 100,000 personas-año). Llamativamente, en el escenario de bajas emisiones, la tasa aumentaría más que en el escenario de altas emisiones. Esto se

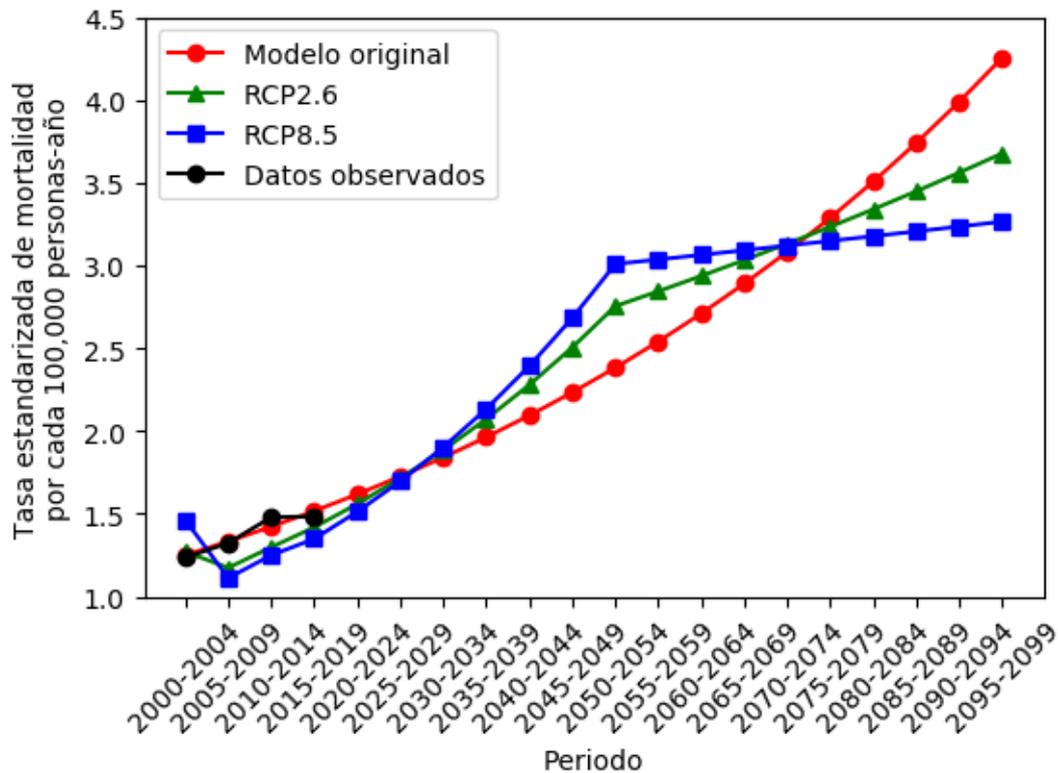


Figura 5.7: Proyecciones de la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel en función de estimaciones máximas de proyecciones del TOC de primavera y del UVI a mediodía de verano en los escenarios de cambio climático RCP2.6 y RCP8.5 en Asunción, Paraguay. Se muestra, además, las proyecciones del modelo original de Poisson (ecuación 4.4), calculado en base a los datos observados

debe a que el TOC de primavera aumentaría más en el escenario de altas emisiones que en el escenario de bajas emisiones. Si bien los valores máximos diarios del UVI durante los veranos venideros disminuirían conforme aumenta el TOC, esto no es indicador de que la mortalidad de cáncer de piel disminuirá (Corrêa et al., 2019). Un tercer escenario basado en la observación temporal (en color rojo), indica que la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel aumentaría hasta 2.38 hacia el 2050, y hasta 4.25 hacia el 2100 (por cada 100,000 personas-año).

En la Figura 5.8 se observa las proyecciones de la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel en función de estimaciones de proyecciones de diferencias relativas de la DOSIS-E y de la DOSIS-D en los escenarios de cambio climático RCP2.6 y RCP8.5 en Asunción, Paraguay, junto con las proyecciones del modelo original de Poisson mostrado

anteriormente en la ecuación 4.4, calculado en base a los datos observados.

Como en las proyecciones de la Figura 5.7, las proyecciones de la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel aumentarían en todos los escenarios. En el escenario de altas emisiones (RCP8.5), la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel aumentaría hasta 2.32 hacia el 2050, y hasta 2.59 hacia el 2100 (por cada 100,000 personas-año). Por otro lado, en el escenario de bajas emisiones (RCP2.6), la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel aumentaría hasta 2.88 hacia el 2050, y hasta 2.98 hacia el 2100 (por cada 100,000 personas-año). Según estas proyecciones, el escenario RCP2.6 ofrece mayor riesgo de mortalidad por cáncer de piel, debido a una recuperación más lenta del TOC. Estas proyecciones están basadas en los efectos acumulativos de la dosis UV a lo largo de la vida y se ha considerado sus efectos positivos (la producción de vitamina D) y sus efectos negativos (eritema) en el cuerpo humano. Con fines comparativos, se muestra, nuevamente, el escenario basado en la observación temporal (modelo original de regresión de Poisson).

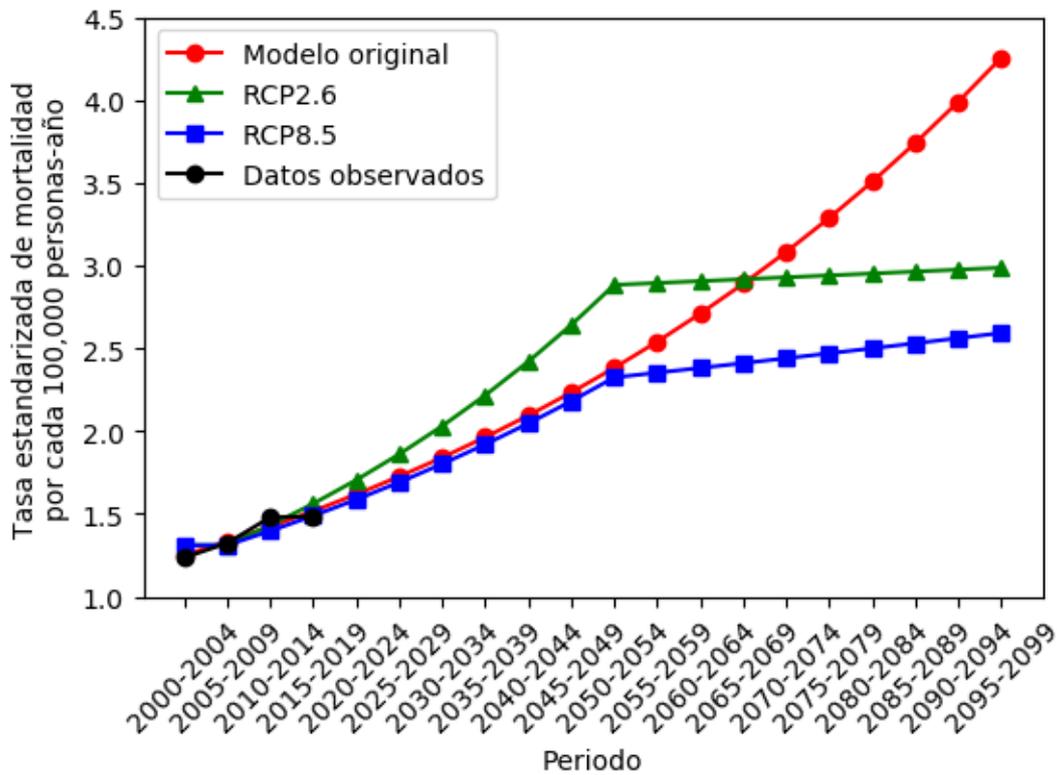


Figura 5.8: Proyecciones de la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel en función de estimaciones de proyecciones de diferencias relativas de la DOSIS-E y de la DOSIS-D en los escenarios de cambio climático RCP2.6 y RCP8.5 en Asunción, Paraguay. Se muestra, además, las proyecciones del modelo original de Poisson (ecuación 4.4), calculado en base a los datos observados

## Capítulo 6

### Conclusiones

Se ha analizado la tasa específica de mortalidad por cáncer de piel en diferentes grupos de edad, en base a los datos suministrados por el MSPYBS, en cuatro periodos de observación: 2000-2004, 2005-2009, 2010-2014 y 2015-2019. El análisis ha mostrado que en Paraguay, al menos una persona de 50 años, muere a causa del cáncer de piel, por cada 100,000 personas-año. La tasa específica de mortalidad por cáncer de piel aumenta considerablemente sobre los 65 años, con más de 30 por cada 100,000 personas-año. Es decir, el riesgo de muerte por cáncer de piel es muy elevado sobre los 50 años. Si bien existen muchos factores que favorecen el desarrollo de la enfermedad como alteraciones genéticas, la vejez, el estrés térmico y la contaminación del aire, entre otros, la exposición solar ultravioleta seguirá siendo el factor más importante en la incidencia del cáncer de piel.

La mortalidad por cáncer de piel afecta considerablemente la capacidad productiva de la población (Yabroff et al., 2008). Al respecto, se ha utilizado un indicador de salud denominado *años de vida potencialmente perdidos* (AVPP) (Statistics Canada, 2008), para cuantificar el número de años que se pierde a causa de la mortalidad de la enfermedad. Durante los periodos 2000-2004, 2005-2009, 2010-2014 y 2015-2019, se han perdido 2,780, 3,474, 4,513 y 4,835 años, respectivamente. Estos años de vida perdidos aumentan cuanto más joven es la población de personas que muere a causa de la enfermedad, considerando una esperanza de vida de 75 años. La alta disponibilidad de radiación solar en Paraguay durante prácticamente todo el año y principalmente durante el verano (Delgado, 2018), y el aumento continuo de las temperaturas, favorecerán a un aumento muy importante de la incidencia del cáncer de piel, así como también un aumento en la mortalidad de esta enfermedad.

Los años de vida perdidos de esta población de personas que muere a causa del cáncer de piel representan altos costos económicos al Estado. Al respecto, se ha valorado un año de vida como tres veces el PIB per cápita anual, de acuerdo con OMS (2001). De este modo, fue posible estimar el costo económico de los años de vida perdidos en cada periodo de observación. Durante los periodos 2000-2004, 2005-2009, 2010-2014 y 2015-2019, se han perdido US\$ 10,850,340, US\$ 31,026,294, US\$ 70,172,637 y US\$ 82,402,905, respectivamente. Estos costos estimados son proporcionales al crecimiento de la economía nacional. Sin embargo, a pesar de que los costos estimados son elevados, no se ha tenido en cuenta los costos estimados relacionados al tratamiento de la enfermedad, por lo que, en realidad, los costos son muy superiores. Se hace énfasis en la necesidad de evaluar los costos económicos teniendo en cuenta los tratamientos médicos que conlleva la enfermedad. Para estimar mejor estos costos, será necesario construir una base de datos más amplia que observe otras variables como el diagnóstico y los tratamientos en las diversas fases de la enfermedad (de Souza et al., 2009). Si se dispone de esta base, será posible realizar proyecciones de los costos económicos estimados de la tasa de incidencia y de mortalidad del cáncer de piel, lo que ayudará a formular estrategias para la prevención de la enfermedad y generar ahorros importantes al Estado.

Con el fin de comparar cifras de mortalidad en diferentes regiones, periodos y grupos de observación, es necesario considerar variables que explican cierta parte de las diferencias observadas, como la edad. Por ello, se ha utilizado la población mundial standard recomendada por la OMS (2001), para la estandarización de las tasas de mortalidad por cáncer de piel. Las tasas estandarizadas de mortalidad por cáncer de piel en los periodos 2000-2004, 2005-2009, 2010-2014 y 2015-2019, han sido 1.23, 1.32, 1.47 y 1.48 por cada 100,000 personas-año, respectivamente. De acuerdo con estos resultados, la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel aumenta tras cada periodo de observación. Con relación al primer periodo de observación, la tasa del periodo 2015-2019 ha experimentado un crecimiento del 20 %. Se estima que la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel siga en aumento, teniendo en cuenta la falta de reglamentación de la prevención del cáncer de piel, así como también los hábitos de exposición prolongada a la radiación ultravioleta (de Souza et al., 2011).

Mediante un modelo de regresión de Poisson se halló una expresión matemática de la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel para los cuatro periodos de observación. Este modelo de regresión fue utilizado para proyectar la tasa estandarizada de mortalidad por

cáncer de piel hasta el año 2100. De acuerdo con estas proyecciones, la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel sería igual a 2.38 hacia el año 2050, y hasta 4.25 hacia el año 2100 (por cada 100,000 personas-año). Sin embargo, este escenario no considera ninguna otra variable más que la temporal, por lo que probablemente sobreestima los valores de dicha tasa.

Se analizó la variación del TOC desde 1978 hasta el año 2020 sobre Asunción. Se encontró que esta variable presenta una disminución notable desde el inicio de las mediciones. Esto se debe al agotamiento del ozono a causa de las emisiones de sustancias agotadoras de la capa de ozono, como los clorofluorocarbonos (CFCs). La media anual del TOC para el periodo estudiado fue igual a 271 DU. El TOC durante la primavera, cuando normalmente presenta sus valores máximos (Delgado, 2018), ha presentado valores por debajo de 280 DU luego de los primeros años posteriores al 2000. Se espera que los valores medios del TOC en primavera aumenten hasta alcanzar al menos 280 DU en el escenario de bajas emisiones (RCP2.6) y hasta 285 DU, en el escenario de altas emisiones (RCP8.5) (Corrêa et al., 2019). La tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel fue modelada en dos casos. En el primer caso, en función de proyecciones de estimaciones máximas del TOC en primavera y del UVI a mediodía de verano, en los escenarios climáticos RCP2.6 y RCP8.5, respectivamente. En el segundo caso, en función de proyecciones de estimaciones de diferencias relativas de la DOSIS-E y la DOSIS-D, con relación a los valores de referencia del periodo 2006-2015, en los dos escenarios climáticos mencionados (Corrêa et al., 2019). En el primer caso, se estima que, en el escenario de altas emisiones (RCP8.5), la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel aumentaría hasta 3 hacia el 2050, y hasta 3.26 hacia el 2100 (por cada 100,000 personas-año). En el escenario de bajas emisiones (RCP2.6), la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel aumentaría hasta 2.75 hacia el 2050, y hasta 3.67 hacia el 2100 (por cada 100,000 personas-año). En el segundo caso, en el escenario de altas emisiones (RCP8.5), la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel aumentaría hasta 2.32 hacia el 2050, y hasta 2.59 hacia el 2100 (por cada 100,000 personas-año). Por otro lado, en el escenario de bajas emisiones (RCP2.6), la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel aumentaría hasta 2.88 hacia el 2050, y hasta 2.98 hacia el 2100 (por cada 100,000 personas-año).

Al parecer, las proyecciones de la tasa estandarizada de mortalidad por cáncer de piel podrían triplicar el valor de la tasa del primer periodo observado (2000-2004). Es decir,

podría concluirse, de acuerdo a las proyecciones de ambos modelos, que al menos 3 de cada 100,000 personas-año, morirán por cáncer de piel hacia fines del siglo XXI, de continuar con estas condiciones epidemiológicas.

El objetivo principal de este trabajo de investigación fue analizar la tasa de mortalidad por cáncer de piel en dos escenarios climáticos. Se espera generar interés en el estudio de la incidencia y de la mortalidad del cáncer de piel, considerando otras variables que no se han incorporado en este trabajo, con el fin de elaborar políticas de salud pública para la prevención del cáncer de piel, bajo el lema de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, *no dejar a nadie atrás*.

## Capítulo 7

### Recomendaciones

Para estudiar mejor los efectos del cambio climático sobre la salud de la piel, se propone la incorporación de más variables en los modelos de proyección de la tasa de incidencia y de mortalidad por cáncer de piel, como la temperatura y la exposición a material particulado, ya que estos inciden en el desarrollo de lesiones cutáneas. También se debería considerar los antecedentes familiares y las alteraciones genéticas que inciden en el desarrollo del cáncer de piel. Un mejor modelo de proyección de las tasas de incidencia y de mortalidad del cáncer de piel ofrecerá a las autoridades sanitarias una información más precisa sobre las estrategias que hay que tomar para la prevención del cáncer de piel. De momento, los resultados de esta investigación pueden servir para una llamada de atención sobre el incremento de la mortalidad por cáncer de piel debido a los hábitos de exposición solar prolongada, para mejorar la comunicación del riesgo de esta enfermedad.

Se recomienda fuertemente el control de las manchas y lunares que cambian de color y forma para la detección precoz de cáncer de piel (Apéndice A). Además, se recomienda el uso restringido de las camas solares, las cuales son consideradas cancerígenas (Apéndice B), ya que su uso excesivo aumenta enormemente el riesgo de cáncer de piel. Sobre este asunto, se abre un nuevo artículo de investigación, ya que actualmente la población de mujeres es la más afectada debido al uso de estos aparatos de bronceado sin regulación alguna.

## Bibliografía

- Ahmad, O. B., Boschi-Pinto, C., Lopez, A. D., Murray, C. J., Lozano, R., Inoue, M., y cols. (2001). Age standardization of rates: a new WHO standard. *Geneva: World Health Organization*. Descargado de <https://www.who.int/healthinfo/paper31.pdf>
- Arrangoiz, R., Dorantes, J., Cordera, F., Muñoz, M., Paquentin, E., y Luque-de León, E. (2016). Melanoma Review: Epidemiology, Risk Factors, Diagnosis and Staging. *Journal of Cancer Treatment and Research, Volume 4*, Pages:1-15. doi: 10.11648/j.jctr.20160401.11
- Bais, A., Tourpali, K., Kazantzidis, A., Akiyoshi, H., Bekki, S., Braesicke, P., ... Yamashita, Y. (2011). Projections of UV radiation changes in the 21st century: Impact of ozone recovery and cloud effects. *Atmospheric Chemistry and Physics, 11*(15), 7533-7545. Descargado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79961009675&doi=10.5194%2facp-11-7533-2011&partnerID=40&md5=5b05ceb2cb02f6a6133ea51d80ea2129> (cited By 56) doi: 10.5194/acp-11-7533-2011
- Banco Mundial. (2020). *PIB per capita - Paraguay*. Grupo Banco Mundial. Descargado de <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.PCAP.CD?end=2018&locations=PY&start=1965&view=chart> (Consultado: 15-07-2020)
- Bharath, A., y Turner, R. (2009). Impact of climate change on skin cancer. *Journal of the Royal Society of Medicine, 102*(6), 215-218. Descargado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-67649271483&doi=10.1258%2fjrsm.2009.080261&partnerID=40&md5=99db42fb1bd4d3a8f77d53037e57b797> (cited By 17) doi: 10.1258/jrsm.2009.080261
- Bournay, E. (2007). *Ozone depletion and climate change*. <https://grid-arendal.herokuapp.com/resources/7510>. UNEP/GRID-Arendal.

- Breslow, N., y Day, N. (1980). *Statistical methods in cancer research* (Vol. Volume I—The Analysis of Case-Control Studies. International Agency for Research on Cancer; Lyon: 1980). IARC scientific publications.
- CEPAL. (2014). *La economía del cambio climático en el Paraguay*. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/37101-la-economia-cambio-climatico-paraguay>. Santiago de Chile.
- Coronel, G., y More, L. (2015). Problemas de salud por exposición no controlada de la radiación solar, dosimetría de RUV en regiones de Paraguay. *X Congreso Regional Latinoamericano IRPA de Protección y Seguridad Radiológica*. Descargado de <http://www.irpabuenosaires2015.org/Archivos/tr-completos/irpa/fullpaperTRABAJOIRPA2015.pdf>
- Corrêa, M., Yamamoto, A., Moraes, G., Godin-Beekmann, S., y Mahé, E. (2019). Changes in the total ozone content over the period 2006 to 2100 and the effects on the erythemal and vitamin D effective UV doses for South America and Antarctica. *Photochemical and Photobiological Sciences*, 18(12), 2931-2941. Descargado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85076575098&doi=10.1039%2fc9pp00276f&partnerID=40&md5=285c6bad63f64cb1cf5d75b6fb44aa97> (cited By 0) doi: 10.1039/c9pp00276f
- Cuellar, A. (2015). *El impacto sociocultural del cambio climático y del aumento de la temperatura sobre las enfermedades de la piel*. Asunción, Paraguay: Fondo Nacional de la Cultura y las Artes (FONDEC).
- Delgado, A. (2018). *Estudio de los niveles del Índice Ultravioleta en relación a los niveles de ozono estratosférico en la Ciudad de San Lorenzo durante el periodo 2006-2009* (Tesis de Grado). Universidad Nacional de Asunción, Facultad Politécnica, San Lorenzo, Paraguay.
- de Souza, R., Mattedi, A., Corrêa, M., Rezende, M., y Ferreira, A. (2011). An estimate of the cost of treating non-melanoma skin cancer in the state of São Paulo, Brazil [Estimativa do custo do tratamento do câncer de pele tipo não-melanoma no estado de São Paulo - Brasil]. *Anais Brasileiros de Dermatologia*, 86(4), 657-662. Descargado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-80054009797&doi=10.1590%2fS0365-05962011000400005&partnerID=40&md5=70a6eaae8972448d183e73105a186696> (cited By 17) doi:

10.1590/S0365-05962011000400005

- de Souza, R., Mattedi, A. P., Rezende, M. L., Correa, M. d. P., y Duarte, E. M. (2009). Estimativa do custo do tratamento de cancer de pele tipo melanoma no Estado de Sao Paulo - Brasil. *Anais Brasileiros de Dermatologia*, 84, 237 - 243. Descargado de [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0365-05962009000300004&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-05962009000300004&nrm=iso)
- Diaz-Quijano, F. (2016). Regresiones aplicadas al estudio de eventos discretos en epidemiología. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, 48, 9-15. doi: 10.18273/revsal.v48n1-2016001
- Diffey, B. (1991). Solar ultraviolet radiation effects on biological systems. *Physics in Medicine and Biology*, 36(3), 299–328. Descargado de <https://doi.org/10.1088%2F0031-9155%2F36%2F3%2F001> doi: 10.1088/0031-9155/36/3/001
- Diffey, B. (2003). Climate change, ozone depletion and the impact on ultraviolet exposure of human skin. *Physics in Medicine and Biology*, 49(1), R1–R11. Descargado de <https://doi.org/10.1088%2F0031-9155%2F49%2F1%2Fr01> doi: 10.1088/0031-9155/49/1/r01
- Diffey, B., Jansen, C., Urbach, F., Wulf, H., y Morison, W. (1997). The standard erythema dose: A new photobiological concept. *Photodermatology Photoimmunology and Photomedicine*, 13(1-2), 64-66. Descargado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0030766482&doi=10.1111%2Fj.1600-0781.1997.tb00110.x&partnerID=40&md5=3ad7c5afc20244e5ed1440e6ca21cacc> (cited By 139) doi: 10.1111/j.1600-0781.1997.tb00110.x
- Fitzpatrick, T. (1988). The Validity and Practicality of Sun-Reactive Skin Types I Through VI. *Archives of Dermatology*, 124(6), 869-871. Descargado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0023882897&doi=10.1001%2Farchderm.1988.01670060015008&partnerID=40&md5=af3a68350e032849e309d4dad99423e6> (cited By 2425) doi: 10.1001/archderm.1988.01670060015008
- Freeman, R., y Knox, J. (1964). Influence of temperature on ultraviolet injury. *Archives of Dermatology*, 89(6), 858-864. Descargado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0043277983&doi=10.1001%2Farchderm.1964.01590300086023&partnerID=40&md5=153cb54aa246f901797fdb33a9345800> (cited By 45) doi: 10.1001/archderm.1964.01590300086023
- Giardina, R. (2017). XIV Campaña de Prevención del Cáncer de Piel. *Gaceta Dermatológica*

(Asunción), 12(1), 53-58.

Giardina, R. (2018). XV Campaña de Prevención del Cáncer de Piel y Diagnóstico Oportuno.

*Gaceta Dermatológica (Asunción)*, 13(1), 105-110.

Gorman, S., Lucas, R., Allen-Hall, A., Fleury, N., y Feelisch, M. (2017). Ultraviolet radiation, Vitamin D and the development of obesity, metabolic syndrome and type-2 diabetes. *Photochemical and Photobiological Sciences*, 16(3), 362-373. Descargado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85015680378&doi=10.1039%2fC6PP00274A&partnerID=40&md5=a42d459dea61c2f4943f75ca7727b2fe> (cited By 10) doi: 10.1039/C6PP00274A

Kaffenberger, B. H., Shetlar, D., Norton, S. A., y Rosenbach, M. (2017). The effect of climate change on skin disease in North America. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 76(1), 140 - 147. Descargado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0190962216306338> doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2016.08.014>

Lucas, R., McMichael, T., Smith, W., y Armstrong, B. (2006). *Solar ultraviolet radiation : global burden of disease from solar ultraviolet radiation*. World Health Organization.

Meul, S., Dameris, M., Langematz, U., Abalichin, J., Kerschbaumer, A., Kubin, A., y Oberländer-Hayn, S. (2016). Impact of rising greenhouse gas concentrations on future tropical ozone and UV exposure. *Geophysical Research Letters*, 43(6), 2919-2927. Descargado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84978322033&doi=10.1002%2f2016GL067997&partnerID=40&md5=8a4fed2806504d021fbcc4312d38c17b> (cited By 18) doi: 10.1002/2016GL067997

Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social. (2017). *Atlas de Mortalidad por Cáncer en Paraguay*. Asunción, Paraguay: MSPYBS. <http://portal.mspbs.gov.py/dvent/atlas-mortalidad-cancer-paraguay/>.

Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social. (2019a). *Establecerán primer modelo de registro de cáncer poblacional en el país*. <https://www.mspbs.gov.py/portal-19773/estableceran-primer-modelo-de-registro-de-cancer-poblacional-en-el-pais.html>. (Consultado: 23-07-2020)

Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social. (2019b). *Permanecer alerta ante el melanoma*. <https://www.mspbs.gov.py/portal/18365/permanecer-alerta-ante-el-melanoma.html>. (Consultado: 26-07-2020)

- Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social. (2020). *Número de muertes por cáncer de piel en Paraguay*. <http://portal.mspbs.gov.py/digies/>. (Consultado: 19-03-2020)
- Moehrle, M., Dennenmoser, B., y Garbe, C. (2003). Continuous long-term monitoring of UV radiation in professional mountain guides reveals extremely high exposure. *International Journal of Cancer*, 103(6), 775-778. Descargado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0037348873&doi=10.1002%2fijc.10884&partnerID=40&md5=e48e2910993f2bef6695309c6bf1ba0f> (cited By 65) doi: 10.1002/ijc.10884
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2020). *Download Near Real-Time Data*. <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/download-nrt-data>. (Consultado: 09-05-2020)
- Newman, P., Oman, L., Douglass, A., Fleming, E., Frith, S., Hurwitz, M., ... Velanders, G. (2009). What would have happened to the ozone layer if chlorofluorocarbons (CFCs) had not been regulated? *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9(6), 2113-2128. Descargado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-68949107153&doi=10.5194%2facp-9-2113-2009&partnerID=40&md5=30d9f69df8e046608eb6596681fb846b> (cited By 98) doi: 10.5194/acp-9-2113-2009
- Niu, Z., Parmar, V., Xu, B., Coups, E. J., y Stapleton, J. L. (2018). Prevalence and correlates of intentional outdoor and indoor tanning among adolescents in the United States: Findings from the FLASHE survey. *Preventive Medicine Reports*, 11, 187 - 190. Descargado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211335518301104> doi: <https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2018.06.014>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2017). *Comparta nuestras infografías sobre los riesgos asociados a las camas solares*. <https://www.who.int/phe/infographics/ultraviolet-radiation/es/>. (Consultado: 26-07-2020)
- Piacentini, R., Della Ceca, L., y Ipiña, A. (2018). Climate change and its relationship with non-melanoma skin cancers. *Photochemical and Photobiological Sciences*, 17(12), 1913-1917. Descargado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85058148586&doi=10.1039%2fc7pp00405b&partnerID=40&md5=96f99c7eebb040bdd6ba557a5e1fe5c6> (cited By 1) doi: 10.1039/c7pp00405b

- Ramos, P., Cañete, F., Dullak, R., Bolla, L., Centurión, N., Centurión, A., ... Chaves, F. (2012). Epidemiología del cáncer de piel en pacientes atendidos en la Cátedra de Dermatología de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad Nacional de Asunción, Paraguay (2008-2011). En *Anales de la Facultad de Ciencias Médicas (Asunción)* (Vol. 45, p. 49-70). Descargado de [http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1816-89492012000200005&nrm=iso](http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1816-89492012000200005&nrm=iso)
- Ransohoff, K. J., Jaju, P. D., Tang, J. Y., Carbone, M., Leachman, S., y Sarin, K. Y. (2016). Familial skin cancer syndromes: Increased melanoma risk. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 74(3), 423 - 434. Descargado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0190962215023634> doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2015.09.070>
- Riffat, F., Palme, C. E., y Veness, M. (2015). *Non-melanoma Skin Cancer of the Head and Neck* (F. Riffat, C. E. Palme, y M. Veness, Eds.). Springer, New Delhi. doi: <https://doi-org.ezproxy-cicco.conacyt.gov.py/10.1007/978-81-322-2497-6>
- Rumbo-Prieto, J. M. (2019). Cambio climático y enfermedades dermatológicas: ¿qué podemos hacer? [Climate change and dermatological diseases: what can we do?]. *ENFERMERÍA DERMATOLÓGICA*, 13(38), 7-9. Descargado de <http://www.enfermeriadermatologica.anedidic.com/index.php/anedidic/article/view/37> doi: [10.5281/zenodo.3574083](https://zenodo.org/record/3574083)
- Statistics Canada. (2008). *Health Indicators*. Ottawa, Ontario: Statistics Canada Catalogue no. 82-221-X. Descargado de <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/82-221-x/82-221-x2008001-eng.pdf>
- Stocker, T., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S., Boschung, J., ... Midgley, P. (2013). *Climate change 2013 the physical science basis: Working Group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (Vol. 9781107057999). Descargado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84926664150&doi=10.1017%2fCBO9781107415324&partnerID=40&md5=c404c57cea944ca22ed871d27c8c4124> (cited By 4438) doi: [10.1017/CBO9781107415324](https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324)
- Tatalovich, Z., Wilson, J. P., Mack, T., Yan, Y., y Cockburn, M. (2006). The objective assessment of lifetime cumulative ultraviolet exposure for determining melanoma risk. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 85(3), 198 - 204. Descargado

- de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1011134406001928> doi: <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2006.08.002>
- Tavakolpour, S., Daneshpazhooh, M., y Mahmoudi, H. (2017). Skin Cancer: Genetics, Immunology, Treatments, and Psychological Care. En P. Mehdipour (Ed.), *Cancer genetics and psychotherapy* (pp. 851–934). Cham: Springer International Publishing. Descargado de [https://doi.org/10.1007/978-3-319-64550-6\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-319-64550-6_18) doi: 10.1007/978-3-319-64550-6\_18
- United Nations. (1993). Agenda 21 : programme of action for sustainable development, Rio Declaration on Environment and Development, statement of forest principles : the final text of agreements negotiated by Governments at the United Nations Conference on Environment and Development (UNCED), 3-14 June 1992, Rio de Janeiro, Brazil. , 294 p. Descargado de <http://digitallibrary.un.org/record/170126> (On cover: Earth Summit, Agenda 21, the United Nations programme of action from Rio.)
- United Nations. (2015). *Transforming our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development* (Inf. Téc.). Descargado de <https://www.refworld.org/docid/57b6e3e44.html> (Consultado: 20-07-2020)
- van der Leun, J. C., y de Gruijl, F. R. (2002). Climate change and skin cancer. *Photochem. Photobiol. Sci.*, 1, 324-326. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1039/B201025A> doi: 10.1039/B201025A
- Vierkötter, A., Schikowski, T., Ranft, U., Sugiri, D., Matsui, M., Krämer, U., y Krutmann, J. (2010). Airborne Particle Exposure and Extrinsic Skin Aging. *Journal of Investigative Dermatology*, 130(12), 2719 - 2726. Descargado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022202X15346455> doi: <https://doi.org/10.1038/jid.2010.204>
- Webb, A., y Holick, M. (1988). The role of sunlight in the cutaneous production of vitamin D3. *Annual Review of Nutrition*, 8, 375-399. Descargado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0024148582&doi=10.1146%2fannurev.nu.08.070188.002111&partnerID=40&md5=857fab996bfe924359cc29cd8ef69c14> (cited By 187) doi: 10.1146/annurev.nu.08.070188.002111
- Wehner, M., Chren, M.-M., Nameth, D., Choudhry, A., Gaskins, M., Nead, K., ... Linos, E. (2014). International prevalence of indoor tanning a systematic review and meta-analysis. *JAMA Dermatology*, 150(4), 390-400. Descargado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84898452160&doi=10.1001%2fjamadermatol>

- .2013.6896&partnerID=40&md5=11acd787893dde8d849266d7b2201c1f (cited By 185) doi: 10.1001/jamadermatol.2013.6896
- Wehner, M., Shive, M., Chren, M.-M., Han, J., Qureshi, A., y Linos, E. (2012). Indoor tanning and non-melanoma skin cancer: Systematic review and meta-analysis. *BMJ (Online)*, 345(7877). Descargado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84867273101&doi=10.1136%2fbmj.e5909&partnerID=40&md5=3ce28bb62fea8815ce5733fca2d6dc29> (cited By 204) doi: 10.1136/bmj.e5909
- WHO Commission on Macroeconomics and Health and World Health Organization. (2001). *Macroeconomics and health : investing in health for economic development : executive summary / report of the Commission on Macroeconomics and Health*. World Health Organization.
- World Health Organization. (2018). *Global Health Estimates 2016: Deaths by Cause, Age, Sex, by Country and by Region, 2000-2016*. [https://www.who.int/healthinfo/global\\_burden\\_disease/estimates/en/](https://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/estimates/en/). Geneva: WHO.
- World Health Organization and World Meteorological Organization and United Nations Environment Programme and International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. (2002). *Global solar UV index : a practical guide*. World Health Organization.
- World Health Organization, Regional Office for South-East Asia. (2008). *Millennium development goals* (Technical documents). Descargado de <https://apps.who.int/iris/handle/10665/126808>
- Yabroff, K., Bradley, C., Mariotto, A., Brown, M., y Feuer, E. (2008). Estimates and projections of value of life lost from cancer deaths in the united states. *Journal of the National Cancer Institute*, 100(24), 1755-1762. Descargado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-58049202257&doi=10.1093%2fjnci%2fdjn383&partnerID=40&md5=6af23423ad3abb52313727bed7172b6b> (cited By 71) doi: 10.1093/jnci/djn383

## Apéndice A

### 23 de Mayo: Día Mundial del Melanoma

El 23 de mayo se celebra el Día Mundial del Melanoma. Esta celebración surge como iniciativa para la detección precoz y el tratamiento oportuno del melanoma, el cual es un tipo de cáncer de piel muy agresivo. Al respecto, el MSPYBS (2019b), a través del Programa Nacional de Control del Cáncer, recomienda evitar la exposición solar UV y propone la utilización de la regla del ABCD para distinguir un lunar de un posible melanoma (Figura A.1). Esta regla consiste en seguir cuatro sencillos pasos de observación de un lunar. En primer lugar, el control de la **A**simetría: que la mitad de un lunar no sea igual que la otra mitad. En segundo lugar, el control de **B**ordes irregulares: bordes desiguales, irregulares, borrosos o dentados. En tercer lugar, la observación del **C**olor: colores rojizos, blanquecinos y azules sobre lesiones de color negro o cambios notables en la coloración del lunar. En cuarto lugar, el **D**íámetro: si el lunar mide más de 6 milímetros o aumenta de tamaño. Se recomienda acudir al dermatólogo ante cambios observados en los lunares o ante la aparición de manchas sospechosas en la piel.

## 23 de mayo: Día Mundial del Melanoma

La regla del ABCD nos puede ayudar a distinguir un lunar normal de un melanoma

**A**

ASIMETRÍA: que la mitad de un lunar no sea igual que la otra mitad.

**B**

BORDES IRREGULARES: bordes desiguales. Irregulares, borrosos o dentadas.

**C**

COLOR: los colores más peligrosos son los rojizos, blanquecinos y azules sobre lesiones de color negro o cambios en la coloración.

**D**

DIÁMETRO: cuando el lunar mide más de 6 milímetros o aumenta de tamaño (mayor de 6 mm.)

- La prevención se realiza evitando la exposición a la radiación UV.  
- La detección precoz y tratamiento oportuno son las mejores herramientas contra esta enfermedad.

Ministerio de SALUD PÚBLICA Y BIENESTAR SOCIAL GOBIERNO NACIONAL Paraguay de la gente

Figura A.1: Regla ABCD para distinguir un lunar de un melanoma (MSPYBS, 2019b)

## Apéndice B

### Las camas solares son cancerígenas

La OMS (2017) recomienda que las naciones deben adoptar medidas para limitar el uso de las camas solares para reducir los riesgos de desarrollo del cáncer de piel. Las camas solares son cancerígenas e implican un alto riesgo de cáncer de piel principalmente en mujeres jóvenes y de piel clara (Figura B.1). Se estima que, anualmente, se producen 10,000 casos de melanoma y 450,000 casos de otros cánceres de piel debido al uso excesivo de las camas solares en Australia, Europa y Estados Unidos (Wehner et al., 2014). El riesgo de desarrollo de carcinomas de células basales y de células escamosas es muy alto en personas menores de 25 años que utilizan estas camas solares (Wehner et al., 2012). Además, el uso de estos aparatos de bronceado puede causar cataratas oculares, inmunosupresión, quemaduras solares y envejecimiento prematuro de la piel.

Con el fin de reducir la tasa de incidencia del cáncer de piel debido al uso de las camas solares, la OMS (2017) propone gestionar adecuadamente el uso de las camas solares mediante políticas públicas (Figura B.2). Estas políticas pueden implicar la prohibición de todos los servicios de camas solares, así como también la prohibición del alquiler y venta de camas solares para uso doméstico. Si bien esto no es posible a nivel país, sí es posible restringir el uso de estas camas solares mediante la reglamentación del uso como la prohibición del acceso a las mismas sin supervisión, el establecimiento de una edad mínima y la prohibición del uso para personas de alto riesgo. Además, los establecimientos que ofrecen el servicio de bronceado deben tener una licencia obligatoria y deben reglamentar el uso obligatorio de protección ocular, entre otros. Finalmente se debe fomentar la información sobre el riesgo del uso de camas solares y limitar la publicidad de estos aparatos.

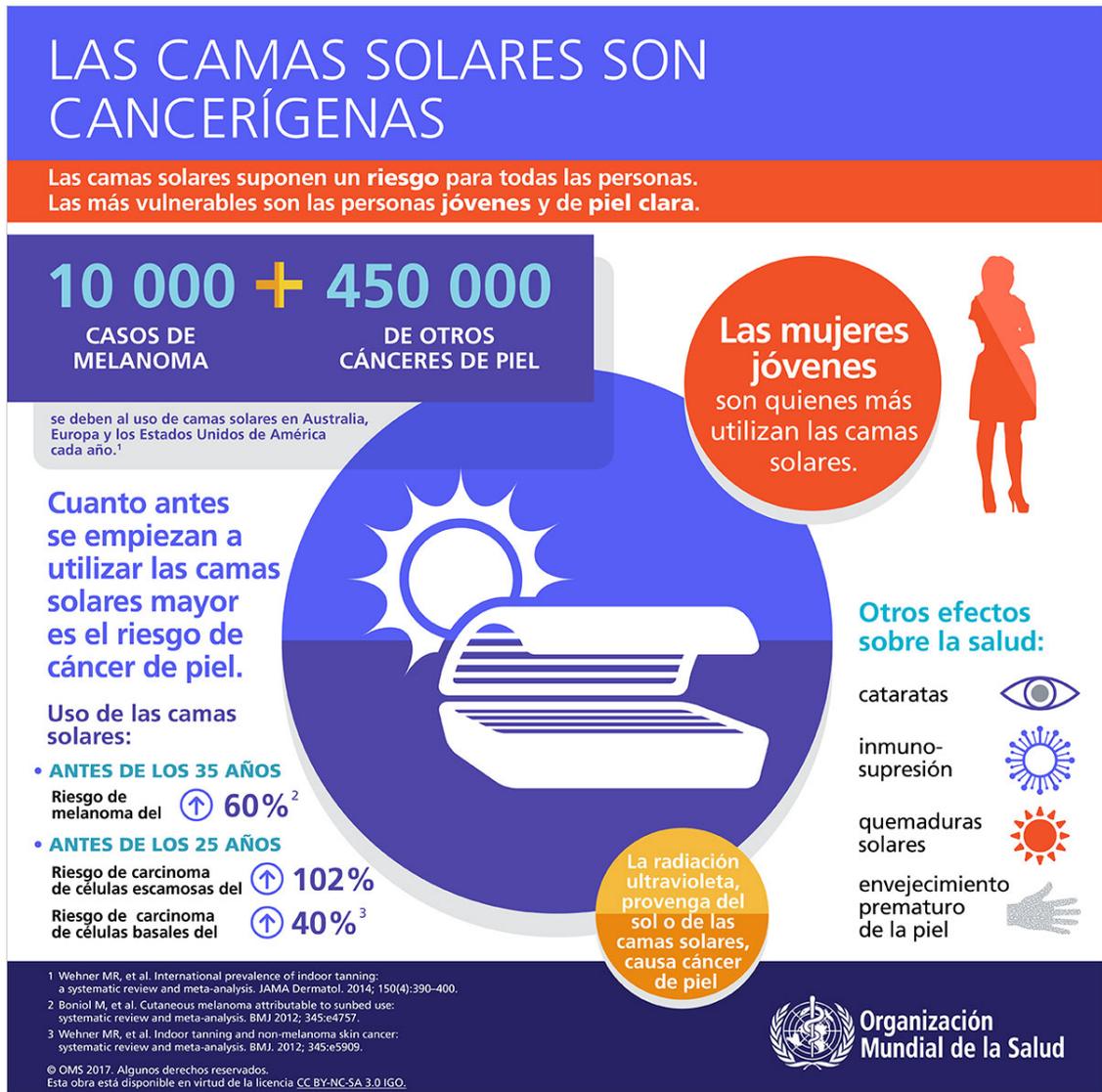


Figura B.1: Las camas solares son cancerígenas (OMS, 2017)



Figura B.2: Gestión de las camas solares (OMS, 2017)





**La maestría “Gestión de Riesgo de Desastre y Adaptación al Cambio Climático” es cofinanciada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología - CONACYT con recursos del FEEI.**