

MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

Evaluación de los impactos del cambio climático sobre la salud

Economía del cambio climático
en la Argentina

Aníbal E. Carbajo



NACIONES UNIDAS



MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

Evaluación de los impactos del cambio climático sobre la salud

Economía del cambio climático
en la Argentina

Aníbal E. Carbajo



NACIONES UNIDAS



Este documento fue preparado por Aníbal E. Carbajo, consultor de la Unidad de Políticas para el Desarrollo Sostenible de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). El documento se realizó en 2009, en el marco del estudio nacional de la economía del cambio climático en la Argentina, bajo la coordinación de Osvaldo Girardín a nivel nacional. Además, este documento es parte de los estudios sectoriales preparados en el marco del Estudio Regional de la Economía del Cambio Climático (ERECC) en América del Sur —iniciativa encabezada por la CEPAL y coordinada por Joseluis Samaniego, Carlos de Miguel, Mauricio Pereira y Karina Martínez. El ERECC contó con el apoyo y la colaboración financiera de los Gobiernos de Alemania, Dinamarca, España y el Reino Unido, así como de la Unión Europea y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad del autor y pueden no coincidir con las de la Organización.

Las denominaciones empleadas en los mapas de esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contienen no implican, de parte de la Secretaría de las Naciones Unidas, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

Publicación de las Naciones Unidas

ISSN 1564-4189

LC/L.4084

Copyright © Naciones Unidas, octubre de 2015. Todos los derechos reservados

Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile

S.15-00964

Los Estados miembros y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a las Naciones Unidas de tal reproducción.

Índice

Resumen	5
Introducción	7
I. Estado del arte en la temática	9
A. Dengue.....	9
B. Malaria.....	9
II. Metodología	11
A. Dengue.....	11
B. Malaria.....	12
C. Estimación de población bajo riesgo.....	13
D. Análisis de riesgo.....	13
III. Resultados	15
A. Dengue.....	15
B. Malaria.....	20
1. Metodología accesoria.....	23
C. Conclusiones.....	33
IV. Aportes a la estimación de costos	35
A. Dengue.....	35
B. Malaria.....	36
V. Adaptación	37
A. Dengue.....	37
B. Malaria.....	37
Bibliografía	39
Anexo	41
Serie Medio Ambiente y Desarrollo: números publicados	45

Cuadros

Cuadro 1	Probabilidad de presencia según modelo GARP y valor de p, adjudicado a cada especie de Anopheles	13
Cuadro 2	Población total del país y población bajo riesgo de dengue en ciudades con “ndpei” menor a 25 para los escenarios A2 y B2, por corte temporal	19
Cuadro 3	Periodo extrínseco de incubación (npdei) promedio de cada provincia por corte temporal	20
Cuadro 4	Umbrales de las variables ambientales usadas para delimitar la distribución potencial de los casos y vectores de malaria	23
Cuadro 5	Porcentaje de la población bajo riesgo que sufrió dengue en Brasil.....	36
Cuadro A.1	Población expuesta a riesgo de dengue por provincia, escenario A2	42
Cuadro A.2	Población expuesta a riesgo de dengue por provincia, escenario B2	42
Cuadro A.3	Población expuesta a riesgo de malaria en la Argentina	43
Cuadro A.4	Población expuesta a riesgo de malaria por provincia, escenario A2.....	43
Cuadro A.5	Población expuesta a riesgo de malaria por provincia, escenario B2	43

Gráficos

Gráfico 1	Superficie bajo riesgo de transmisión de malaria	28
Gráfico 2	Total nacional de población expuesta en zonas con riesgo de malaria, por corte temporal	29
Gráfico 3	Total nacional de población expuesta en zonas con potencial presencia de vectores de malaria, por corte temporal.....	30
Gráfico 4	Total nacional de población expuesta en zonas con riesgo de malaria y potencial presencia de vectores, por corte temporal	31

Mapas

Mapa 1	Casos de dengue y distribución de Aedes aegypti.....	16
Mapa 2	Dengue escenario A2, número de días que demora en completarse el PEI.....	17
Mapa 3	Dengue escenario B2, número de días que demora en completarse el PEI	18
Mapa 4	Malaria escenario A2, estabilidad de la transmisión (a mayor valor, mayor riesgo)	21
Mapa 5	Malaria escenario B2, estabilidad de la transmisión (E)	22
Mapa 6	Casos de malaria periodo 1970-2002 sobre E (1998).....	22
Mapa 7	Altitud, temperatura y precipitación (1998)	24
Mapa 8	Zonificación y calibración de potenciales zonas palúdicas y de distribución de vectores.....	25
Mapa 9	Potenciales zonas palúdicas y de distribución de vectores, escenario A2	26
Mapa 10	Potenciales zonas palúdicas y de distribución de vectores, escenario B2	27

Resumen

Para la estimación y determinación de los índices de riesgo de dengue en la República Argentina, para los escenarios de emisiones A2 y B2 del IPCC, se aplicó un modelo que calcula la proporción del ciclo del virus en el mosquito-periodo extrínseco de incubación (PEI) en función de la temperatura del aire.

Los cambios de temperatura pronosticados sugieren que tanto la presencia de *Aedes aegypti* como la ocurrencia de casos de dengue y epidemias podrían en el futuro extenderse hacia el sur de la Argentina. Eso redundaría en un sucesivo aumento en el futuro del número total de habitantes y de la proporción de la población bajo riesgo de padecer esta enfermedad. Al considerar la potencial variación de la distribución de los vectores y la transmisión de malaria en función de la temperatura y las precipitaciones, la población bajo riesgo parecería mantenerse como una fracción constante de la población total en ambos escenarios (entre 9 y 11%). Llama la atención que las predicciones basadas sólo en temperatura (por ejemplo en el caso del dengue) muestran una tendencia clara de aumento hacia el futuro, mientras que aquellas basadas también en precipitaciones (malaria) muestran cambios menos marcados u oscilantes.

Esta investigación se realizó en el año 2009 en el marco del estudio nacional de la economía del cambio climático en la Argentina.

Introducción

El cambio climático podrá afectar la salud humana, influyendo en enfermedades relacionadas con el calor, cáncer de piel, desórdenes respiratorios, malnutrición, enfermedades transmitidas por vectores y desplazamientos por inundaciones. Las enfermedades transmitidas por vectores en particular podrían cambiar en incidencia¹, prevalencia² y/o distribución geográfica, pudiendo tener consecuencias significativas sobre la salud humana, así como impactos sobre la economía y la sociedad (Chan, Ebi et al., 1999).

Aunque los posibles efectos del cambio climático sobre estas enfermedades han sido estudiados (Martens, Jetten et al., 1997; Githeko, Lindsay et al., 2000; Hopp y Foley, 2001; Hales, Wet et al., 2002; Peterson y Shaw, 2003), son pocos los trabajos que lo han hecho cuantitativamente, comparados con los realizados sobre agricultura o cambio del nivel del mar. Esto se debe a la gran cantidad de interacciones que influyen en la ocurrencia de las enfermedades y a las incertezas sobre la cantidad y dirección de los potenciales cambios (Chan, Ebi et al., 1999; Sutherst, 2004).

Mientras que los países desarrollados presentan un 2% de su población infectada con parásitos o enfermedades infecciosas, los países en desarrollo alcanzan el 40% (WRI, 1997). Esto está asociado a las diferencias socioeconómicas reflejadas en la nutrición, sanidad, calidad de viviendas, condiciones de trabajo y servicios de salud. Por este motivo, el efecto del cambio climático sobre la salud en estos países debe centrarse en estas convalecencias.

Entre las enfermedades, transmitidas por vectores en zonas tropicales y subtropicales, el dengue y la malaria son las principales, tanto en incidencia como en población bajo riesgo (Chan, Ebi et al., 1999; Githeko, Lindsay et al., 2000). Se estima que los mayores efectos del cambio climático sobre estas enfermedades se observarán en los extremos de su distribución, asociados a temperaturas de 14-18°C en el límite septentrional y 35-40 °C en el meridional (Githeko, Lindsay et al., 2000). Argentina se encuentra en el límite sur de la distribución del dengue y la malaria en América del Sur, y es por ello que el estudio del riesgo de estas enfermedades frente a cambios climáticos es de suma importancia.

En el país existen estudios de riesgo a escala regional sobre dengue y malaria (Carbajo, Schweigmann et al., 2001; Carbajo, Busch et al., 2007). Debido a que estos modelos estiman el riesgo en función de la temperatura, se pueden utilizar los escenarios de cambio climático para estimar los riesgos de transmisión futuros.

¹ Número de casos nuevos en un período de tiempo determinado.

² Porcentaje de casos respecto a la población total.

I. Estado del arte en la temática

A. Dengue

El dengue es una enfermedad tropical ocasionada por un virus que se mantiene en un ciclo que involucra al hombre y al mosquito *Aedes aegypti*. El dengue es considerada como la enfermedad viral transmitida por vectores más importante del mundo, con un índice DALY (años de salud perdida) de 0,433 (Hales, Wet et al., 2002).

Respecto al mosquito vector, se han realizado trabajos a escala mundial sobre su distribución geográfica en función de variables climáticas (Hopp and Foley, 2001). La enfermedad, cuya transmisión está fuertemente asociada a la temperatura ambiente, ha sido estudiada frente a potenciales cambios climáticos (Jetten y Focks, 1997; Martens, Jetten et al., 1997; Patz, Martens et al., 1998; Hales, Wet et al., 2002).

El dengue no es considerado endémico en la Argentina y resurgió en 1998, con una epidemia en la provincia de Salta y en 2000 en las provincias de Formosa y Misiones (Vezzani y Carbajo, 2008). En 2009 hubo epidemias y casos autóctonos en casi la mitad del país.

En la República Argentina se realizó un modelo de transmisión en función de la temperatura, basado en los trabajos de Focks (1993), donde se calculó la cantidad de días al año en que podría transmitirse la enfermedad para numerosas ciudades del país. Con esos datos se realizó una interpolación espacial para estimar el riesgo relativo de transmisión de la enfermedad en todo el territorio. El modelo, concluido en 1997 (Carbajo, 1997), fue validado por las sucesivas epidemias ocurridas con posterioridad en el país (Carbajo, Schweigmann et al., 2001).

B. Malaria

La malaria, o paludismo, es una enfermedad producida por protozoos del género *Plasmodium* y transmitida por mosquitos anofelinos. La cantidad de casos anuales en el mundo alcanza los 200 millones, convirtiéndola en la más importante entre las enfermedades transmitidas por mosquitos.

El paludismo se transmite de forma endémica en algunas zonas del noroeste argentino (NOA), con incidencias similares año a año (Salta y Jujuy); en cambio, lo hace de forma epidémica³ en Misiones y en algunos puntos del NOA (Tucumán y zonas de Salta y Jujuy; Curto, Carbajo et al., 2004). Aunque la incidencia no es alta en comparación con otras regiones del planeta, la Argentina presenta zonas de transmisión intermitente y cercanas a los límites de su distribución (por altura y latitud), ambas consideradas como las más riesgosas frente a un cambio climático (Sutherst, 2004).

Existen modelos globales sobre la transmisión de la malaria y su distribución geográfica considerando cambios climáticos (Martens, Jetten et al., 1997), como también sobre los cambios en la población bajo riesgo (Hay, Tatem et al., 2006). En Argentina se ha utilizado preliminarmente un modelo de estabilidad de transmisión para regionalizar el riesgo de transmisión (Carbajo, Vezzani et al., 2007). Este modelo considera parámetros particulares de cada mosquito vector y la temperatura del aire (Kiszewski, Mellinger et al., 2004).

³ Cuando la incidencia aumenta más significativamente en un año dado, se habla de epidemia.

II. Metodología

A. Dengue

Para la estimación y determinación de los índices de riesgo de dengue en la República Argentina, para los escenarios de emisiones A2 y B2 del IPCC, se aplicó un modelo que calcula la proporción del ciclo del virus en el mosquito-periodo extrínseco de incubación (PEI)⁴ en función de la temperatura del aire. Se utilizó como base el modelo de Carbajo et al. (2001), debido a su validación previa en el país; usándose una adaptación del mismo para el presente trabajo. En lugar de tomar la cantidad de días de posible transmisión⁵, se consideró el promedio de días que dura el desarrollo del virus⁶.

Esta variable ofrece la ventaja de no depender de la expectativa de vida del vector, parámetro no estimado en el país y que además puede presentar variaciones locales.

Se utilizó la información climática suministrada por el Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) para el clima reciente (1961-1990) y futuro (2100). Los datos suministrados por el INPE son mensuales, por lo que se desarrolló un procedimiento para transformar el modelo a un equivalente anual.

Se buscó una función de relación entre el promedio de días que demora el periodo extrínseco de incubación (ndpei) y la temperatura media anual para 25 ciudades. Mediante esta función se pudo calcular un índice de riesgo de aplicación directa a los datos provistos por el INPE.

El estudio se hizo píxel a píxel para la actualidad (2008) y los escenarios de cambio climático, poniendo especial énfasis en los siguientes “años de corte”: 2020; 2030, 2050, 2070 y 2100. Se incluyó

⁴ PEI, es el nombre con que se llama al tiempo que demora el virus en desarrollarse dentro del mosquito.

⁵ Días de posible transmisión, son los días en que, si se infecta un mosquito, el virus podrá llegar a volverse infectivo, antes de que el mosquito muera. Se utiliza una función de la temperatura ambiente para ir acumulando diariamente la proporción del desarrollo del virus completada; si no alcanza la unidad en los 15 días siguientes, se considera que el día de inicio no puede iniciar la transmisión. La variable resultante es un valor entre 0 y 365 que equivale a la cantidad de días en que podría transmitirse el dengue suponiendo que llega una persona con dengue en sangre, que un mosquito la pica, que su expectativa de vida es 15 días y que vuelve a picar a una persona susceptible.

⁶ Debido a que el desarrollo del virus o (PEI) depende de la temperatura, cada potencial infección ocurrida en un día "x" demorará distinto tiempo en completarse, dependiendo de la sucesión de temperaturas que ocurran en los días subsiguientes; por ejemplo, en zonas tropicales se completará en menos días que en zonas de mayor latitud.

también 1962, año en que el vector se hallaba erradicado del continente, y 1998; este último con el fin de compararlo con el primer mapa de riesgo realizado en el país.

Los años 1998 y 2008 se utilizaron, junto con información de casos de dengue en el país, para calibrar la cantidad de población bajo riesgo real: se buscó el límite del promedio de duración del PEI que cubría toda el área donde habían ocurrido casos autóctonos.

B. Malaria

Para la estimación y determinación de los índices de riesgo de malaria en la República Argentina, para los escenarios de emisiones A2 y B2 del IPCC, se aplicó un modelo que calcula la estabilidad de su transmisión, basado en la capacidad vectorial. La capacidad vectorial (C) es equivalente al número de picaduras infectantes de un mosquito. Considera la probabilidad de que pique e ingiera el plasmodio, que el mosquito sobreviva hasta que el plasmodio complete su ciclo, que vuelva a picar, todo esto antes de la muerte del mosquito:

$$C = m \cdot a_2 \cdot pn / - \ln p$$

Donde m es la cantidad de mosquitos por persona, a la proporción de picaduras sobre humanos, p la supervivencia diaria del mosquito, n la duración del PEI, que es función de la temperatura. Kiszewski et al. (2004) sugieren que m se excluya del modelo debido a su alta variabilidad local y, de ese modo, obtener un modelo regional de estabilidad de transmisión (E).

En Argentina coexisten 3 mosquitos vectores: *Anopheles albitarsis*, *Anopheles darlingi* y *Anopheles pseudopunctipennis*. Por este motivo, se desarrollaron 3 ecuaciones independientes, cada una con los parámetros a y p del anofelino correspondiente (indicada por el subíndice i).

$$C = m \cdot a_i \cdot pn / - \ln p_i$$

Debido a que las distribuciones geográficas de estos mosquitos no se superponen en todo el territorio, éstas también fueron incorporadas en el modelo.

El modelado de las distribuciones de los vectores se realizó mediante la técnica de modelado de hábitat o nicho ecológico (Guisan y Zimmermann, 2000; Anderson, Lew et al., 2003). Esta metodología asocia la ubicación de los registros de una especie con una serie de variables ambientales. Mediante un procedimiento automatizado, selecciona aquellas variables que mejor describen la ubicación de la especie y con ellas, a través de reglas de decisión, predice en qué otros lugares podrá encontrársela. Se lo llama modelado de hábitat porque mapea todos los puntos en donde se encuentra la combinación de variables que sería necesaria para la existencia de la especie. Provee una probabilidad de presencia de la especie en formato digital de grilla. El programa utilizado para realizar los mapas de distribución fue el GARP, sigla de Genetic Algorithm for Rule-Set Prediction (Stockwell y Peters, 1999; Anderson, Lew et al., 2003), e implementación de OpenModeller (Sutton, de Giovanni et al., 2007). Se utilizaron las siguientes variables ambientales: temperaturas media, mínima y máxima, precipitación, evapotranspiración, distancias a ríos, rutas y cuerpos de agua, altitud, días anuales con heladas y lluvia, cobertura de nubes, rango de temperatura diurna, radiación de la superficie, presión de vapor, pendiente, suelo urbano o rural, porcentajes de suelo desnudo, de cobertura arbórea y de cobertura de pastos.

Cada mapa de distribución se calibró de modo que la probabilidad de presencia, según el modelo GARP, fuera proporcional a la supervivencia del vector (p). Esta conversión se realizó de acuerdo con el cuadro 1.

Cuadro 1
Probabilidad de presencia según modelo GARP y valor de P,
adjudicado a cada especie de *Anopheles*

GARP (probabilidad)	0,111	0,222	0,333	0,444	0,556	0,667	0,778	0,85	0,9	0,95 -1	
<i>Anopheles</i>	<i>p</i>										<i>a</i>
<i>Albitarsis</i>	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,10
<i>Darlingi</i>	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,46
<i>Pseudopunctipennis</i>	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	0,48

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvieron 3 índices E (uno por cada vector) para cada celda del área de estudio, a partir de la aplicación del modelo citado en el párrafo anterior. Esta información se utilizó para comparar los riesgos de transmisión relativos dentro de las áreas maláricas del país.

La información climática utilizada fue la suministrada por el INPE para el clima reciente (1961-1990) y futuro (2100). El estudio se realizó para las fechas retrospectivas de 1962 y 1998, para 2008 y los escenarios de cambio climático, en los siguientes años de corte: 2020; 2030, 2050, 2070 y 2100.

C. Estimación de población bajo riesgo

Se realizó un estudio demográfico sencillo para estimar la población humana en los años de corte futuros (2020, 2030, 2050, 2070 y 2100). Para ello se utilizó información de CELADE provista por la CEPAL para el estudio regional de la economía del cambio climático en Sudamérica. Utilizando como base 2.847 localidades con la población de 1991, se realizó una grilla con la proporción de habitantes correspondiente a cada celda (respecto del total nacional). Esa grilla fue usada como base para redistribuir la población resultante de la extrapolación.

Con la distribución de los casos de dengue y el mapa de riesgo de la misma enfermedad, se determinó el umbral de transmisión en el mapa. Se utilizó ese umbral para estimar la población bajo riesgo a futuro⁷.

D. Análisis de riesgo

Para cada escenario de cambio climático se construyó un mapa de riesgo relativo, que permitió comparar el comportamiento del riesgo entre períodos (cada fecha de corte) y entre localidades. Se calculó la población bajo riesgo en cada corte temporal y para cada enfermedad, por provincia.

Para el dengue, enfermedad urbana y doméstica, se identificaron las ciudades que quedaban incluidas en la zona de riesgo. Luego, se sumó la población que habitaría en ellas. Para el caso de la malaria en cambio, por ser rural, se calculó también sobre el área total bajo riesgo.

Para el dengue, se sumaron los habitantes de todas las ciudades que presentaban valores dentro del umbral del promedio de días que demora el periodo extrínseco de incubación (ndpei). En el caso de la malaria, se sumaron los habitantes en zonas de riesgo de esta enfermedad, según cada vector.

⁷ En el caso de malaria no fue posible hacer un análisis similar porque no hay un buen registro de casos por localidad, a diferencia de lo que sucede con el dengue. La epidemia de dengue sufrida en la Argentina, facilitó en cierto modo el registro de estos datos.

III. Resultados

A. Dengue

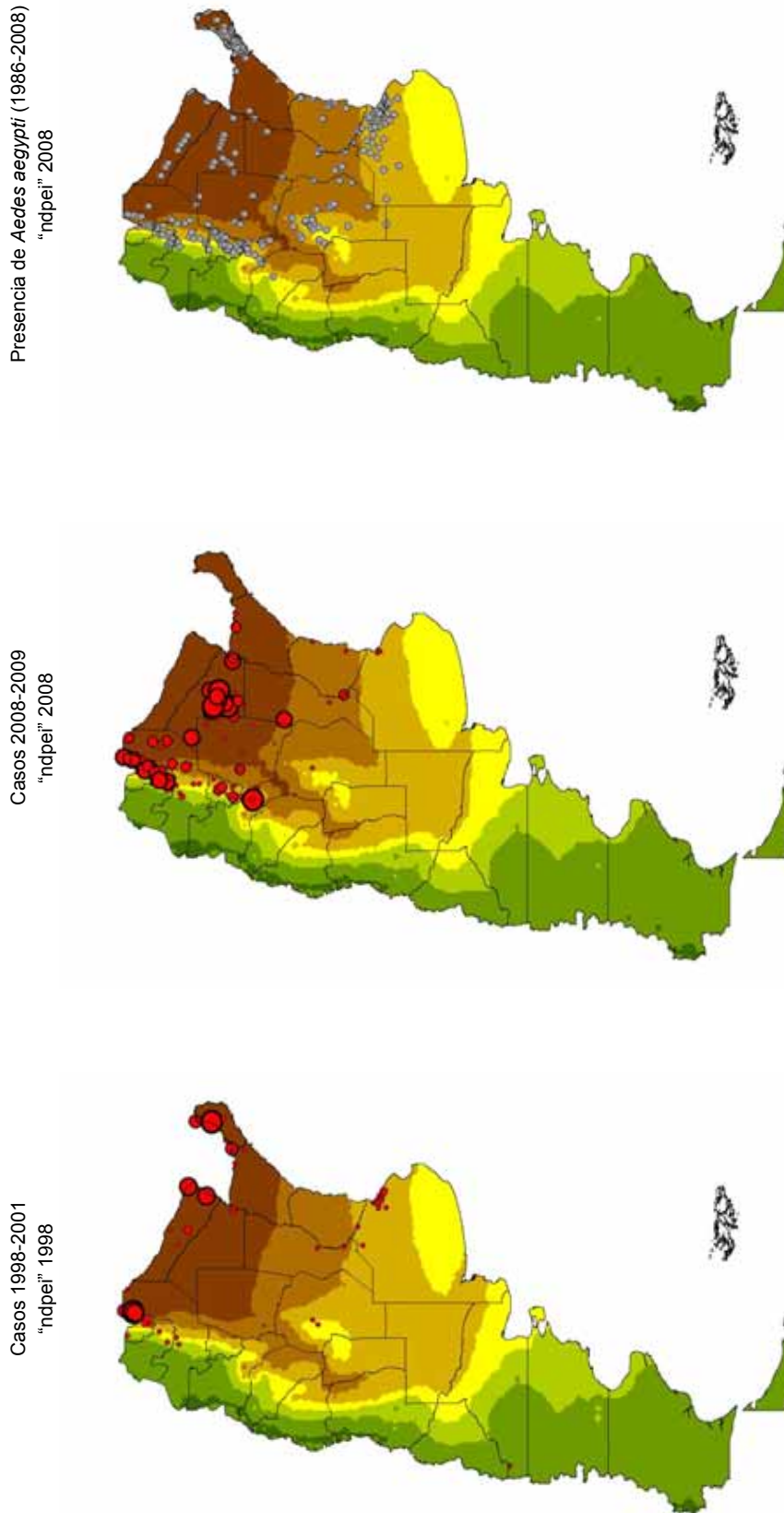
Se obtuvieron los mapas de riesgo (mapas 2 y 3). Se observó una tendencia de aumento del riesgo para los sucesivos cortes de tiempo analizados. Esto se reflejó en una expansión hacia el sur de las áreas de posible transmisión y, además, en la cantidad de habitantes bajo riesgo. En general, el número de días que requiere el periodo extrínseco de incubación (PEI) del virus dengue es sucesivamente más corto para una misma latitud.

De acuerdo con los registros de dengue en 1998-2001, los casos se detectan principalmente hasta un promedio de 25-30 días que demora el periodo extrínseco de incubación (ndpei) (mapa 1), y las epidemias en áreas con 10-20 “ndpei”. Sin embargo en la epidemia de 2008-2009, mucho más extensa que las anteriores ya que triplicó el número de casos históricos acumulados en el país (Vezzani y Carbajo, 2008), aunque los casos autóctonos coincidieron con 25-30 “ndpei”, las epidemias llegaron a valores de 20-25. En función de estos resultados, se consideró que el punto de corte para definir población expuesta a potenciales epidemias sería 25 “ndpei”. Se utilizó la isolínea de 25 “ndpei” en cada corte de tiempo para estimar la población bajo riesgo. En los mapas se puede observar como la isolínea de 25 “ndpei” se desplaza hacia el sur en el futuro.

La población bajo riesgo para cada corte temporal de ambos escenarios A2 y B2, considerando el crecimiento poblacional, se muestra en el cuadro 2. Se observa un aumento de la población bajo riesgo en el futuro, y también un aumento del porcentaje de la población total bajo riesgo (del 21% al 89% para el escenario A2 y del 15% al 80% para el B2). Esto es producto de la sucesiva expansión hacia el sur del área de posible transmisión, que va incluyendo más ciudades. El escenario A2 muestra mayor población bajo riesgo en casi todos los cortes temporales.

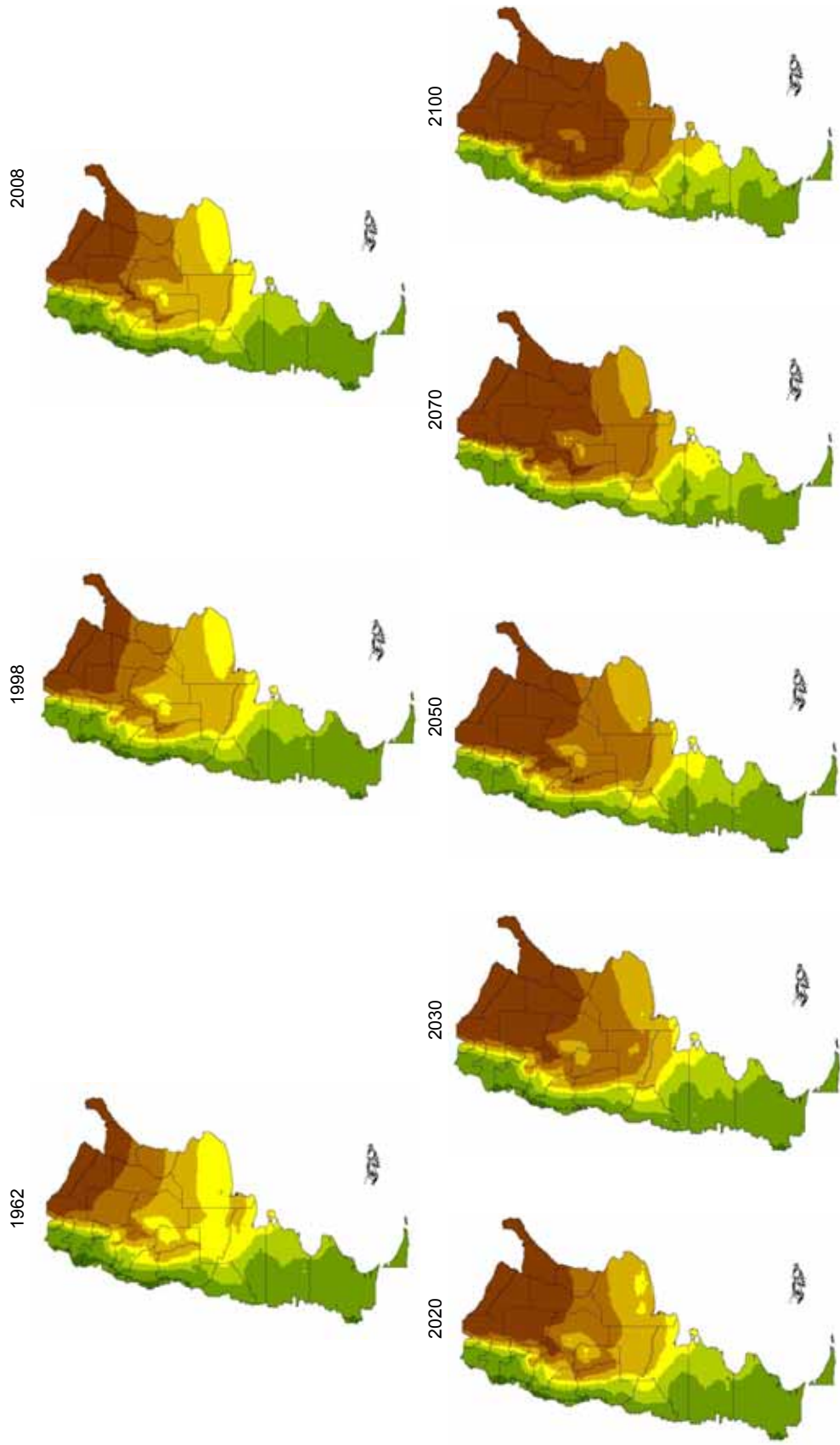
Respecto al mosquito vector, *Aedes aegypti*, y utilizando también las capas de “ndpei”, se pueden estimar las condiciones ambientales para su subsistencia de un modo aproximado. En el mapa 1, se observa que la distribución del vector queda limitada por la isolínea de 25-30 “ndpei”, al igual que los casos autóctonos. Por lo tanto, su distribución potencial futura estaría indicada por ese umbral. Se observa que la distribución de *Aedes aegypti* se podría extender progresivamente hacia el sur, abarcando La Pampa y alcanzando el norte de Río Negro, este de Neuquén y noreste de Chubut para el año 2100.

Mapa 1
Casos de dengue y distribución de *Aedes aegypti*^a

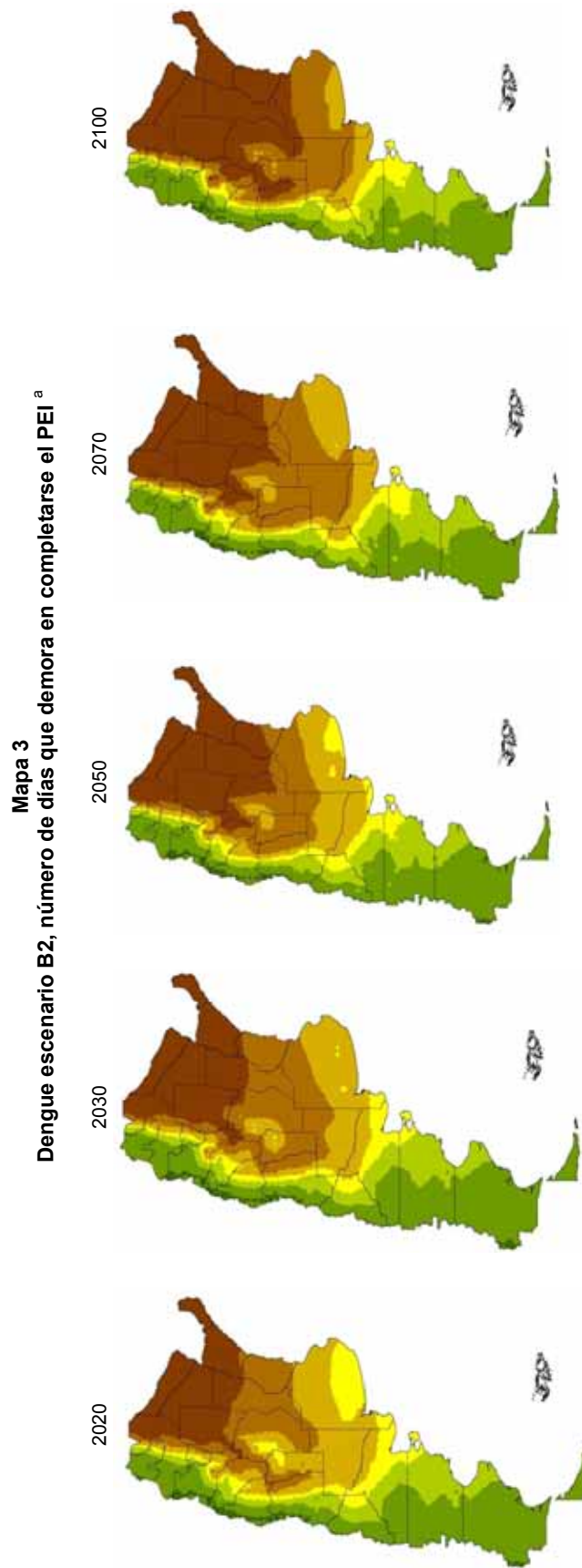


Fuente: Elaboración propia.
^a Los casos de dengue y su distribución se representan con círculos rojos y grises, respectivamente. El número de días que demora en completarse el PEI (gradiente de color de "ndpei": marrón oscuro 10-20; marrón medio 20-25; marrón claro 25-30; amarillo 30-35; verde claro 35-45; verde medio 45-60; verde oscuro 60-80).

Mapa 2
Dengue escenario A2, número de días que demora en completarse el PEI^a



Fuente: Elaboración propia.
^a El gradiente de color de "ndpei": marrón oscuro 10-20; marrón medio 20-25; marrón claro 25-30; amarillo 30-35; verde claro 35-45; verde medio 45-60; verde oscuro 60-80.



Fuente: Elaboración propia.
^a El gradiente de color de "ndpei": marrón oscuro 10-20; marrón medio 20-25; marrón claro 25-30; amarillo 30-35; verde claro 35-45; verde medio 45-60; verde oscuro 60-80.

Cuadro 2
Población total del país y población bajo riesgo de dengue en ciudades con “ndpei”
menor a 25 para los escenarios A2 y B2, por corte temporal
(En habitantes)

ndpei < 25	1962	1998 ^a	2008	2020	2030	2050	2070	2100
Población total		36 783 859	39 299 667	44 189 000	48 625 000	50 603 679	55 125 218	62 676 200
Número de ciudades	816	922	1 113	1 415	1 692	1 750	2 011	2 368
A2 Habitantes bajo riesgo	-	7 901 167	9 836 561	22 547 045	33 649 007	34 003 013	44 807 310	55 613 232
Porcentaje		21	25	51	69	67	81	89
Número de ciudades	818	707	1 009	1 150	1 530	1 675	1 829	2 045
B2 Habitantes bajo riesgo	-	5 502 155	9 431 574	11 118 627	25 401 194	35 761 427	42 121 042	50 033 382
Porcentaje		15	24	25	52	71	76	80

Fuente: Elaboración propia.

^a Se utilizó la población estimada para 2000.

Es interesante que la transmisión autóctona sea posible hasta los límites de la distribución del vector, mientras que la transmisión epidémica muestra requerimientos de temperatura más elevados. Seguramente, la presión de virus (arribo de personas virémicas) determinaría en cuáles localidades se producen casos autóctonos y en cuáles no. Por ejemplo, las zonas más pobladas (debido al mayor tránsito) y aquellas próximas a otras zonas con transmisión (países limítrofes) tendrían la mayor presión de virus.

En el cuadro 3, se puede observar el “ndpei” promedio de las provincias en el futuro. Esta información no debe leerse como en el caso de las ciudades, dado que incluye zonas de diferentes riesgos (por ejemplo, Tucumán tiene zonas de alto riesgo en los llanos y de bajo riesgo en la cordillera, el promedio no refleja su situación real). Sin embargo, estos datos sirven para comparar los cortes temporales. En este cuadro se puede ver que las regiones templadas presentan mayores variaciones que las tropicales, independientemente de su “ndpei”. También se observa el mayor riesgo del escenario A2 (B-A positivo; un menor “ndpei” indica mayor riesgo) y que, en los sucesivos cortes temporales, diferentes ciudades podrían ir incorporándose a la zona de transmisión epidémica (valores menores a 25 “ndpei”). Como es un promedio provincial, ello lo convierte en un indicador más conservativo en el sentido de que si el promedio es inferior a 25, al menos la mitad de la superficie de la provincia tendrá valores inferiores.

Cuadro 3
Periodo extrínseco de incubación (npdei) promedio de cada provincia por corte temporal^a
(En número de días)

	A2								B2						
	1998	2008	2020	2030	2050	2070	2100	Dif. A ^b	2020	2030	2050	2070	2100	Dif. B ^c	B-A ^d
Formosa	16,4	15,7	14,3	13,8	12,9	12,1	11,7	4,7	15,1	14,9	13,9	12,8	12,0	4,4	0,3
Misiones	18,2	17,0	15,6	16,1	14,7	13,1	12,2	6,0	17,0	16,2	15,4	14,3	13,0	5,2	0,8
Chaco	18,7	17,7	16,2	15,4	14,4	12,9	12,2	6,5	17,2	16,9	15,4	14,0	12,9	5,8	0,7
Corrientes	20,9	19,4	17,2	17,0	16,2	14,3	13,4	7,5	18,9	18,2	16,6	15,4	13,8	7,1	0,4
Santiago del Estero	21,0	19,5	18,1	16,7	16,0	13,8	13,6	7,4	19,2	19,0	16,7	15,5	13,9	7,1	0,3
Santa Fe	24,2	22,1	19,7	18,7	18,4	16,3	15,2	9,0	21,9	20,6	18,2	18,3	15,7	8,5	0,5
Entre Ríos	25,8	23,7	20,8	20,0	19,9	18,0	16,5	9,3	23,2	21,9	19,8	20,0	17,4	8,4	0,9
Córdoba	28,6	26,1	24,8	23,1	22,8	20,4	18,4	10,2	26,6	24,2	21,8	22,1	20,3	8,3	1,9
San Luis	29,2	27,0	25,9	24,0	23,3	22,4	18,1	11,1	26,5	24,8	23,8	23,1	22,0	7,2	3,9
La Pampa	31,3	30,2	27,5	25,1	24,3	23,4	21,2	10,1	28,2	25,8	26,1	23,7	23,0	8,3	1,8
Tucumán	32,6	31,0	30,5	29,2	27,6	23,2	22,3	10,3	30,6	30,8	29,2	25,8	28,1	4,5	5,8
La Rioja	35,1	33,7	32,8	32,7	29,5	26,9	23,8	11,3	33,0	32,5	30,7	30,1	29,4	5,7	5,6
Buenos Aires	35,7	34,5	30,0	28,5	29,1	27,8	23,9	11,8	32,5	29,4	29,6	28,6	24,4	11,3	0,5
Río Negro	36,2	34,6	34,8	33,1	31,6	29,2	26,9	9,3	34,8	33,6	32,4	30,8	29,2	7,0	2,3
San Juan	38,9	37,3	36,2	36,0	32,9	31,0	26,5	12,4	36,4	35,9	34,2	33,8	34,4	4,5	7,9
Catamarca	40,4	38,6	39,0	38,3	36,3	31,3	28,5	11,9	38,3	38,4	38,0	33,8	44,4	-4,0	15,9
Mendoza	40,5	38,7	37,0	35,3	33,9	33,5	28,4	12,1	37,9	36,5	35,2	34,4	31,8	8,7	3,4
Neuquén	43,8	44,4	42,8	41,5	39,1	37,2	35,4	8,4	42,7	40,7	40,5	38,1	38,9	4,9	3,5
Chubut	44,5	42,1	42,0	40,6	38,8	36,2	34,7	9,8	41,8	41,4	39,5	38,5	36,9	7,6	2,2
Santa Cruz	52,3	51,4	51,9	50,3	48,1	45,7	44,9	7,4	48,8	51,3	48,6	47,1	48,2	4,1	3,3
Jujuy	52,4	51,9	52,4	51,5	50,0	45,8	43,2	9,2	52,7	52,4	52,1	48,8	47,4	5,0	4,2
Tierra del Fuego	56,2	56,7	56,5	56,8	55,9	52,9	52,0	4,2	55,2	56,2	55,0	53,4	50,0	6,2	-2,0
Salta	59,1	58,7	59,3	58,5	57,4	53,6	51,4	7,7	59,2	58,9	59,0	56,1	55,1	4,0	3,7

Fuente: Elaboración propia.

^a Se muestran sombreados los valores por debajo de 25 "ndpei".

^b Dif. A: diferencia entre 2100 y 1998 para el escenario A2.

^c Dif. B: diferencia entre 2100 y 1998 para el escenario B2.

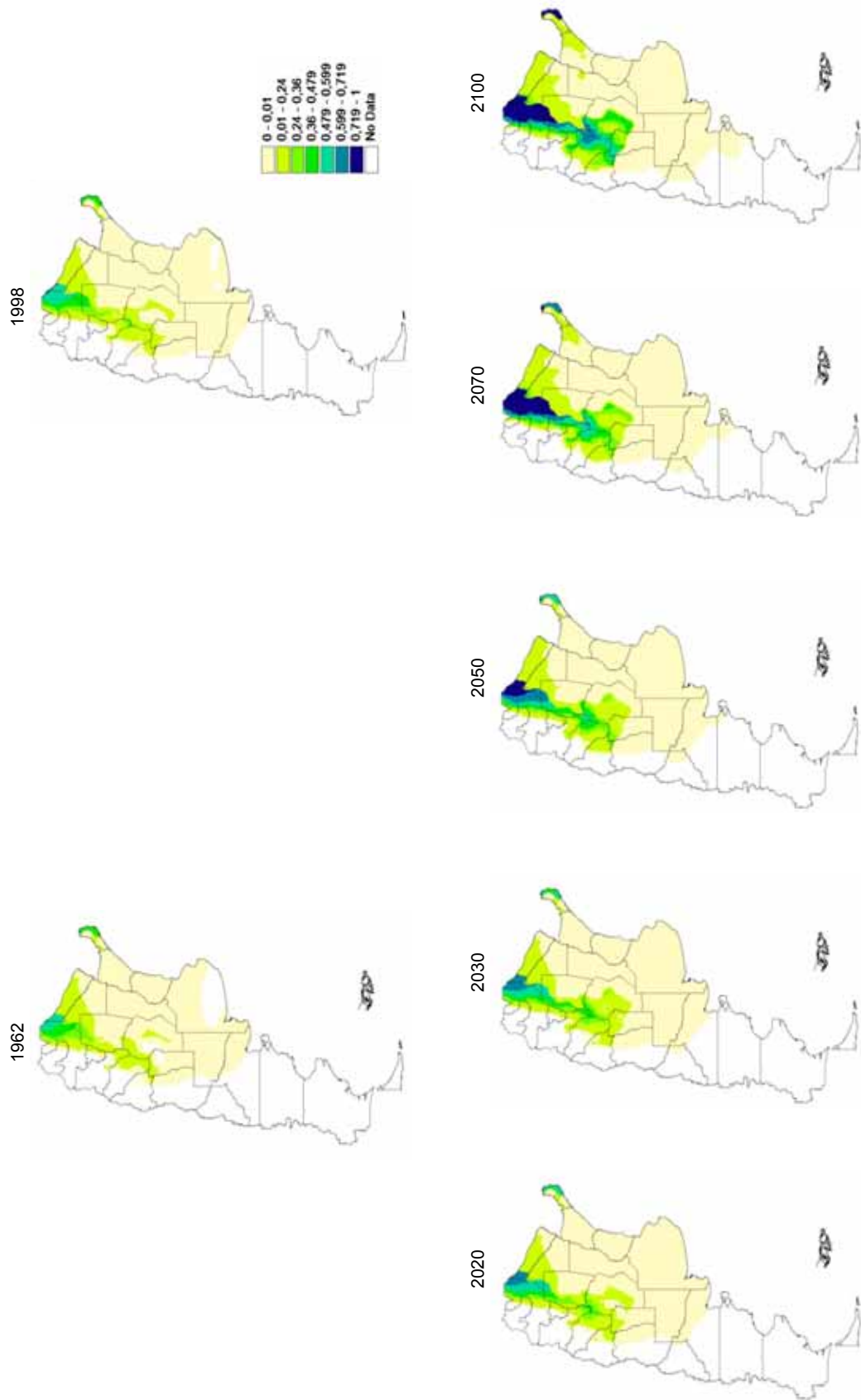
^d B-A: diferencia entre 2100 de B2 y 2100 de A2.

B. Malaria

Los resultados obtenidos con los modelos de malaria (Kiszewski, Mellinger et al., 2004) muestran una expansión hacia el sur de la estabilidad de la transmisión, alcanzando en el escenario A2 a cubrir la distribución actual de los vectores. También se observa un mayor riesgo bajo el escenario A2 con respecto al B2, al comparar los mapas de un mismo corte temporal (mapas 4 y 5). Sin embargo, los modelos restringen la expansión de la transmisión a la distribución de los vectores.

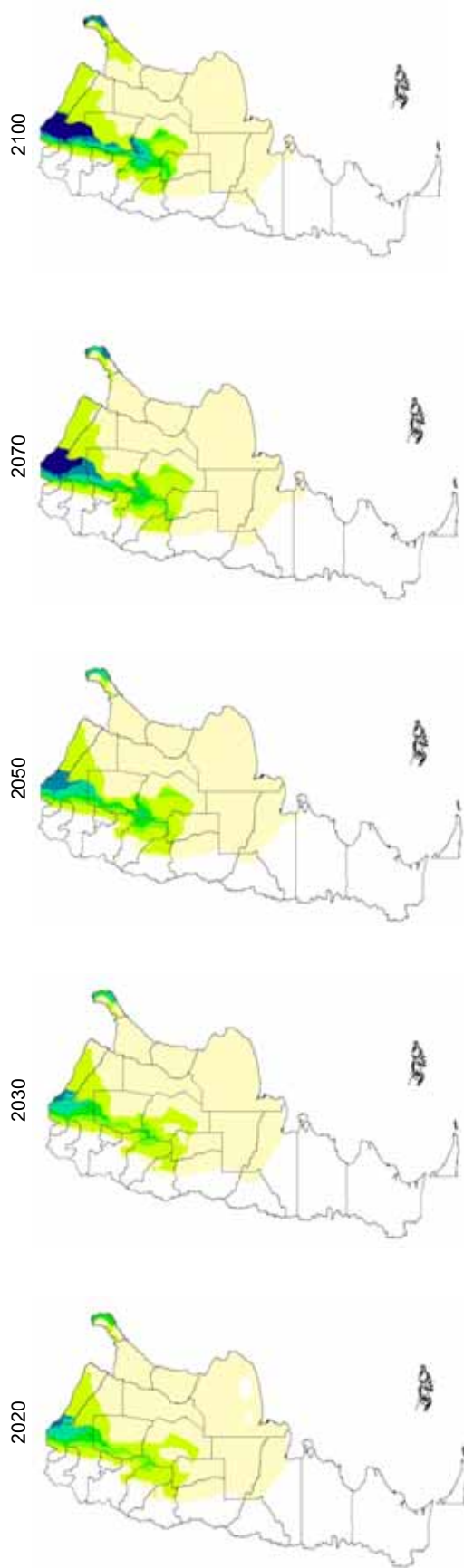
Por otro lado, las zonas de mayor cantidad de casos no coinciden con las predichas como de mayor riesgo (mapa 6). Por estos motivos, se realizó un análisis accesorio para verificar si realmente no habría una expansión del área palúdica más allá de la distribución actual de sus vectores y mejorar el ajuste de las zonas óptimas con los casos ocurridos.

Mapa 4
Malaria escenario A2, estabilidad de la transmisión (a mayor valor, mayor riesgo)



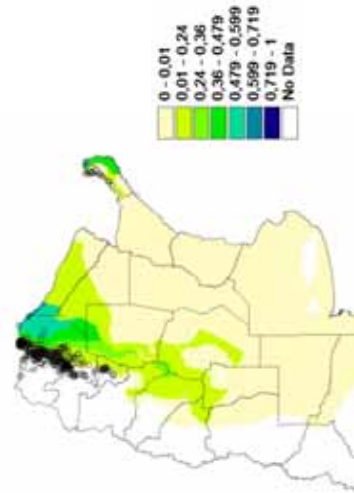
Fuente: Elaboración propia.

Mapa 5
Malaria escenario B2, estabilidad de la transmisión (E)



Fuente: Elaboración propia.

Mapa 6
Casos de malaria periodo 1970-2002 sobre E (1998)



Fuente: Elaboración propia.

1. Metodología accesoria

Se buscó asociar la distribución de los vectores y zonas de transmisión de malaria a variables ambientales. Se analizaron los umbrales de temperatura, precipitación y altitud que limitan la distribución de los vectores para modelar su potencial distribución en el futuro. Se escogieron estas 3 variables siguiendo trabajos previos (Curto y Carbajo, 2007). Se trabajó con *Anopheles pseudopunctipennis* y *darlingi*, y se dejó de lado *Anopheles albicans*, debido a su baja capacidad vectorial ($a = 0,1$; $b = 0,6$). Mediante la superposición de la distribución de casos entre 1970 y 2000 y las capas de temperatura y de precipitación de 1998, se confirmaron los umbrales de corte para los casos de malaria y para cada uno de los vectores (cuadro 4 y mapa 7).

Cuadro 4
Umbrales de las variables ambientales usadas para delimitar la distribución potencial de los casos y vectores de malaria

	Altitud (m)	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)
<i>An. albicans</i> ^a			
<i>An. darlingi</i>		> 20	
<i>An. pseudopunctipennis</i>	> 300 < 2 500	> 10	> 800
Malaria por <i>An. darlingi</i>		> 21,8	> 1 800
Malaria por <i>An. pseudopunctipennis</i>	> 300 < 2 500	> 10	> 1 300
Malaria indeterminada	> 300 < 2 500	> 20	> 1 300

Fuente: Elaboración propia.

^a Distribución no modelada.

En 1998, no se observan temperaturas mayores a 20 °C en la zona palúdica del NOA. En cambio en Misiones, existen zonas a más de 300 m con temperaturas mayores a 21 °C, donde no hay ningún registro de malaria desde 1900. En los cortes temporales usados, aparecen zonas con combinaciones de condiciones que serían propicias para la transmisión en el NOA, pero no en el noreste del país (NEA)⁸. A estas zonas se las denominó "indeterminadas", para indicar que incluyen aquellas correspondientes al NOA (riesgosas) y al NEA (sin riesgo). En caso de que la malaria debida a *Anopheles darlingi* pudiera extenderse a franjas altas, esta zona indeterminada podría considerarse de riesgo; sin embargo, el registro histórico remontado a 1900 no muestra casos en el área alta (Curto y Carbajo, 2007)

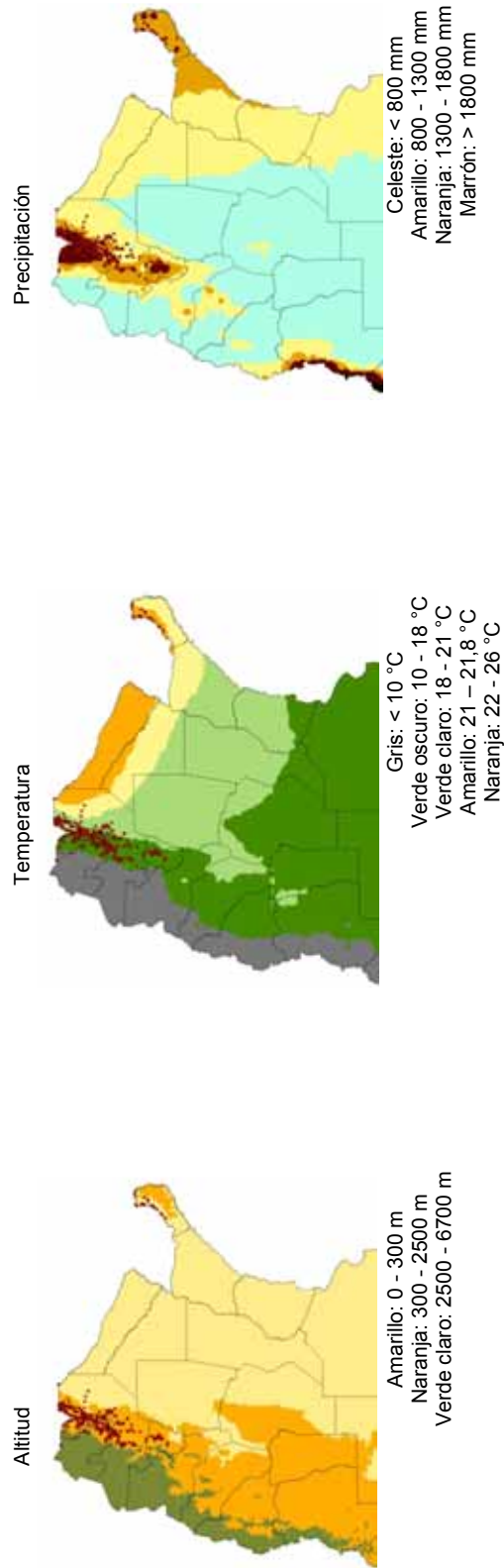
En el mapa 8 se muestran las zonas delimitadas por estos umbrales junto a la distribución histórica de los vectores y casos de malaria. Se construyeron los mapas con las combinaciones de estas 3 variables, de modo de indicar las zonas potenciales para cada vector y la transmisión de malaria en cada corte temporal. Se tabularon el área total de riesgo de transmisión en cada provincia y la población expuesta bajo cada zona potencial (de distribución del vector o de riesgo de malaria).

Según el escenario A2, la distribución potencial de *Anopheles darlingi* aumentaría, extendiéndose hacia el sur. Sin embargo, la de *Anopheles pseudopunctipennis* se contraería levemente hacia el noroeste del país. Respecto a la malaria, se extendería por la provincia de Misiones (este y sur) y alcanzaría a la de Corrientes. En el NOA, la zona de malaria se contraería levemente en Salta, a partir de 2050 (mapa 9). En el escenario B2, la distribución potencial de *Anopheles darlingi* también se iría extendiendo hacia el sur, mientras que la de *Anopheles pseudopunctipennis* se contraería en el centro del país hasta 2050 (San Luis y Córdoba), y luego volvería a extenderse en 2070 y 2100. La malaria, se extendería por la provincia de Misiones (este y sur) y al noreste de Corrientes en 2030; sin embargo, en 2100 retrocedería al sureste de Misiones (mapa 10).

⁸ Salvo que llegara *Anopheles pseudopunctipennis* a la región.

Mapa 7
Altitud, temperatura y precipitación (1998)

A. Casos de malaria 1970-2000 (cuadrados rojos)

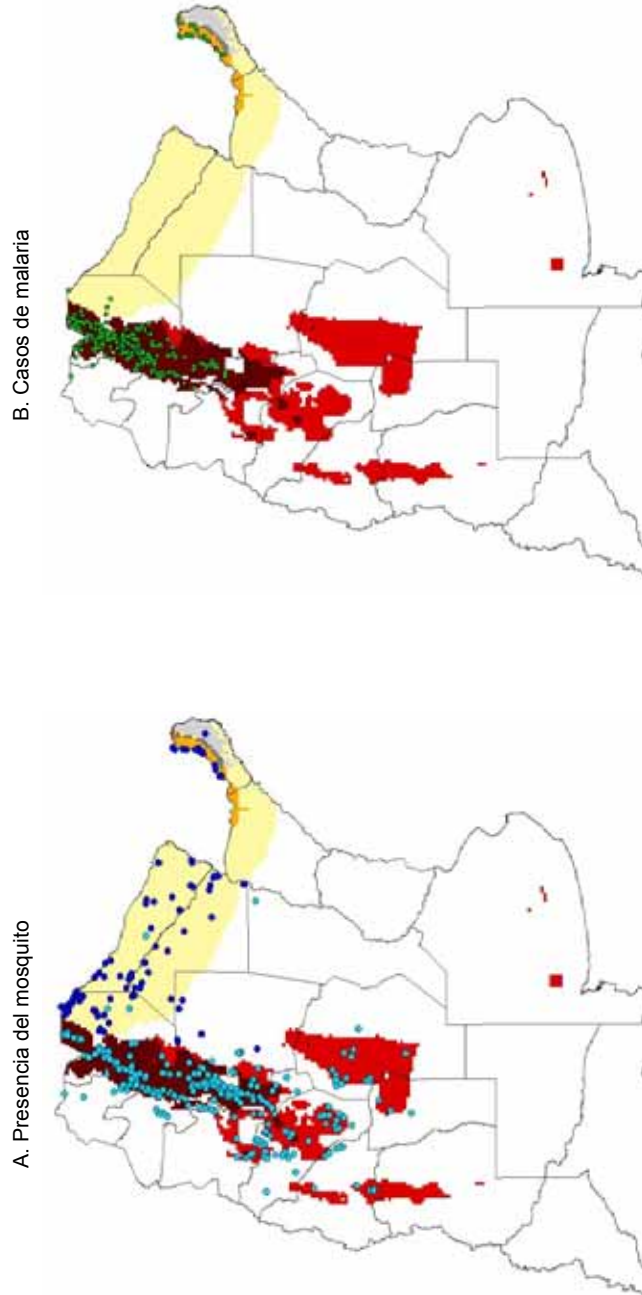


B. Sitios de detección histórica de *Anopheles pseudopunctipennis* (círculos celestes) y *Anopheles darlingi* (círculos azules)



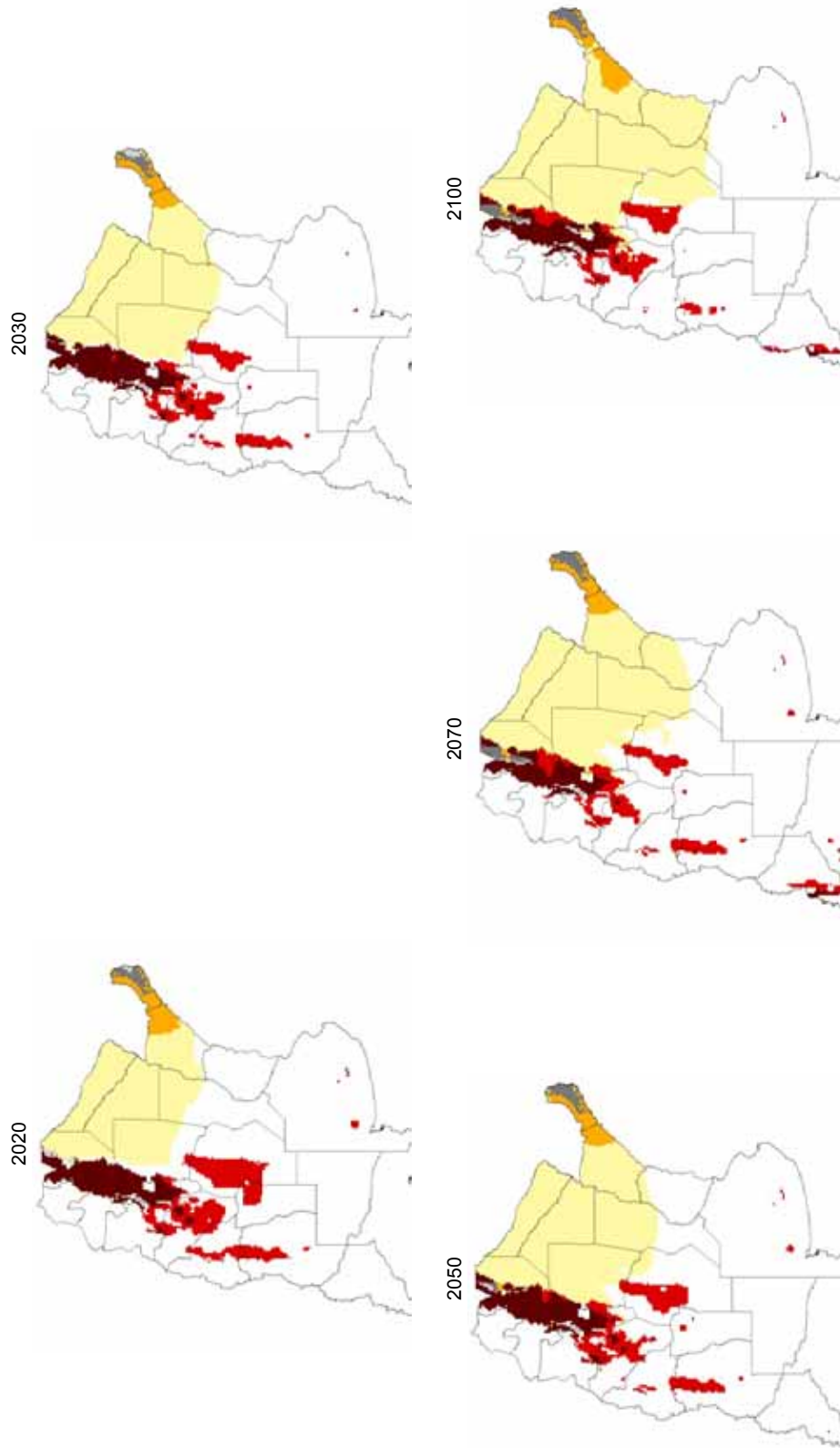
Fuente: Elaboración propia.

Mapa 8
Zonificación y calibración de potenciales zonas palúdicas y de distribución de vectores^{a,b}



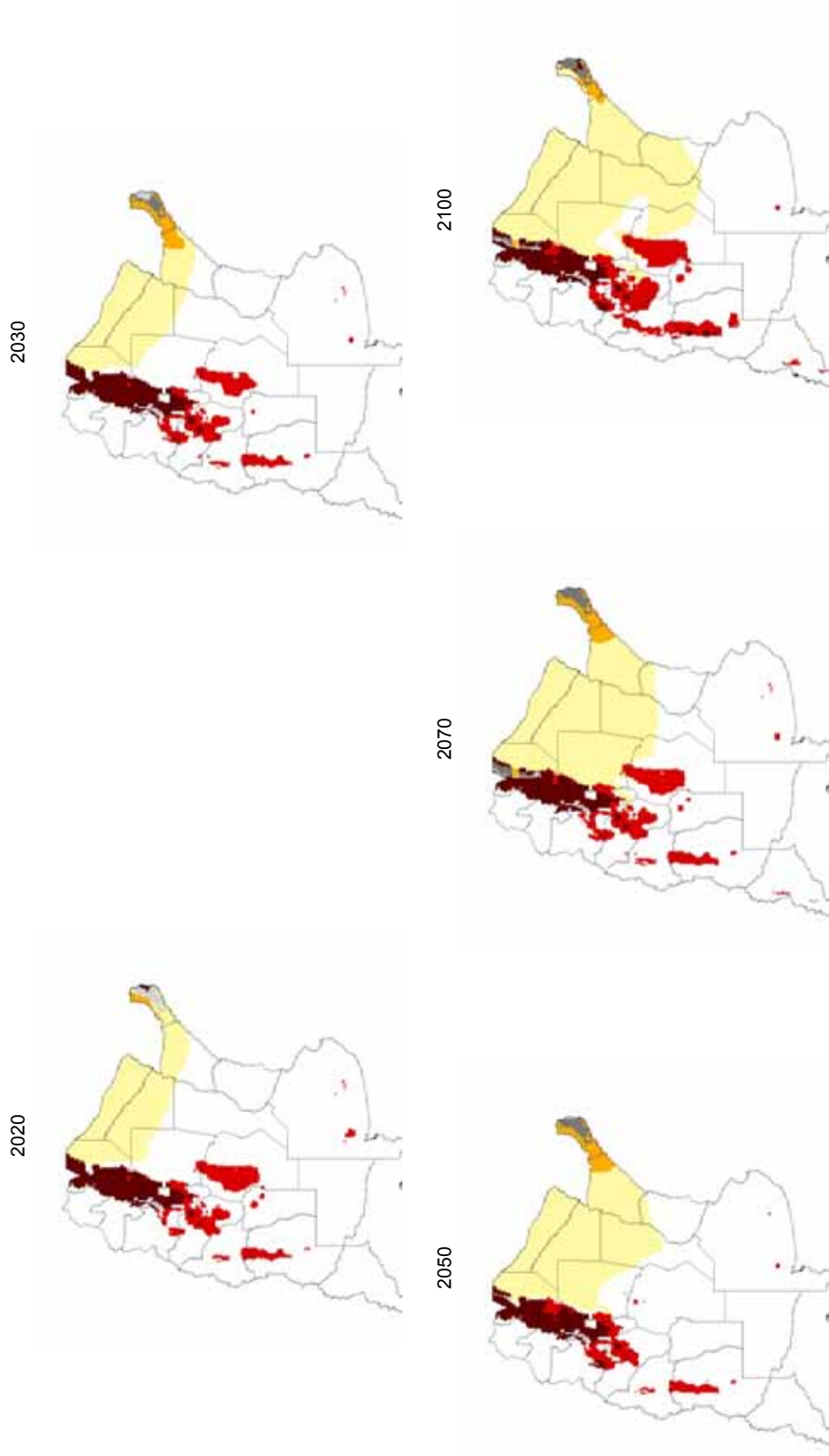
Fuente: Elaboración propia.
^a Distribución histórica de presencia de *Anopheles pseudopunctipennis* con puntos celeste y de *Anopheles darlingi* con puntos azules. Distribución histórica de casos de malaria con puntos verdes.
^b En ambos mapas las zonas maláricas potenciales por *Anopheles pseudopunctipennis* se indican con sombreado marrón (no se conocen registros de *Anopheles pseudopunctipennis* en el noreste, a pesar de que se vea color rojo en Misiones), las zonas maláricas por *Anopheles darlingi* están con sombreado naranja y las zonas indeterminadas con sombreado gris.

Mapa 9
Potenciales zonas palúdicas y de distribución de vectores, escenario A2^a



Fuente: Elaboración propia.
^a Zonas maláricas por *Anopheles pseudopunctipennis* en marrón, por *Anopheles darlingi* en naranja, e indeterminada en gris. Distribuciones potenciales de *Anopheles pseudopunctipennis* en rojo y marrón y de *Anopheles darlingi* en amarillo y naranja.

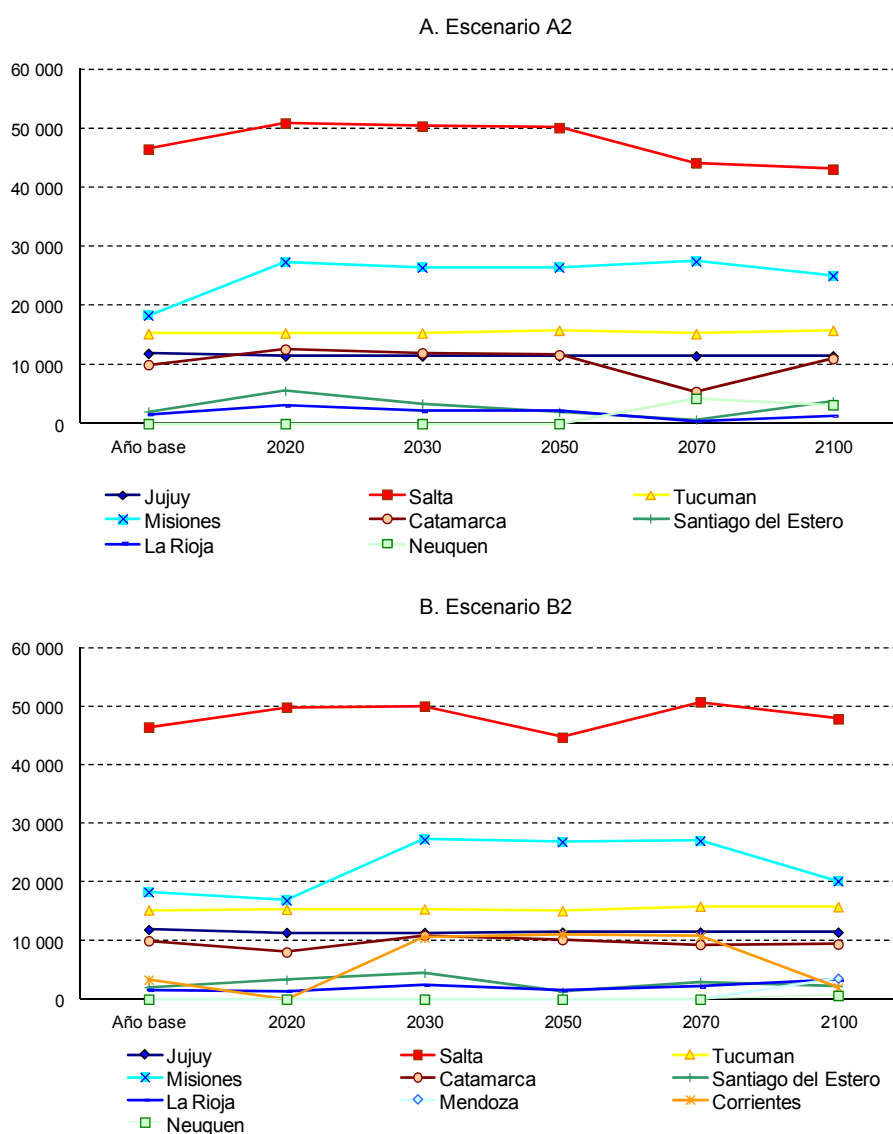
Mapa 10
Potenciales zonas palúdicas y de distribución de vectores, escenario B2^a



Fuente: Elaboración propia.
^a Zonas maláricas por *Anopheles pseudopunctipennis* en marrón, *Anopheles darlingi* en naranja, e indeterminada: gris. Distribuciones potenciales de *Anopheles pseudopunctipennis* en rojo y marrón y de *Anopheles darlingi* en amarillo y naranja.

La superficie bajo riesgo de malaria (por cualquier vector), cuando se estudia por provincia, muestra que Buenos Aires, Chubut, Tierra del Fuego, La Pampa, Santa Cruz, Chaco, Entre Ríos y Santa Fe no presentan áreas bajo riesgo de malaria. Entre las provincias que han presentado casos en los últimos 30 años del siglo XX, se ve un patrón de poco cambio en el tiempo para Tucumán y Jujuy, en ambos escenarios (gráfico 1). Salta y Misiones muestran un aumento en 2020 respecto al año base en el escenario A2; pero luego, el área bajo riesgo comienza a disminuir en Salta y, en cambio, se mantiene en Misiones. En el escenario B2, Misiones se comporta (al igual que Corrientes) con un descenso en 2020 respecto al año base, luego aumenta en 2030 y se mantiene, hasta que cae en 2100. Respecto a las provincias sin malaria, llama la atención en el escenario A2 una disminución progresiva del riesgo en Santiago del Estero y La Rioja, como la aparición de zonas de riesgo en Neuquén, a partir de 2070.

Gráfico 1
Superficie bajo riesgo de transmisión de malaria ^a
 (En kilómetros cuadrados)

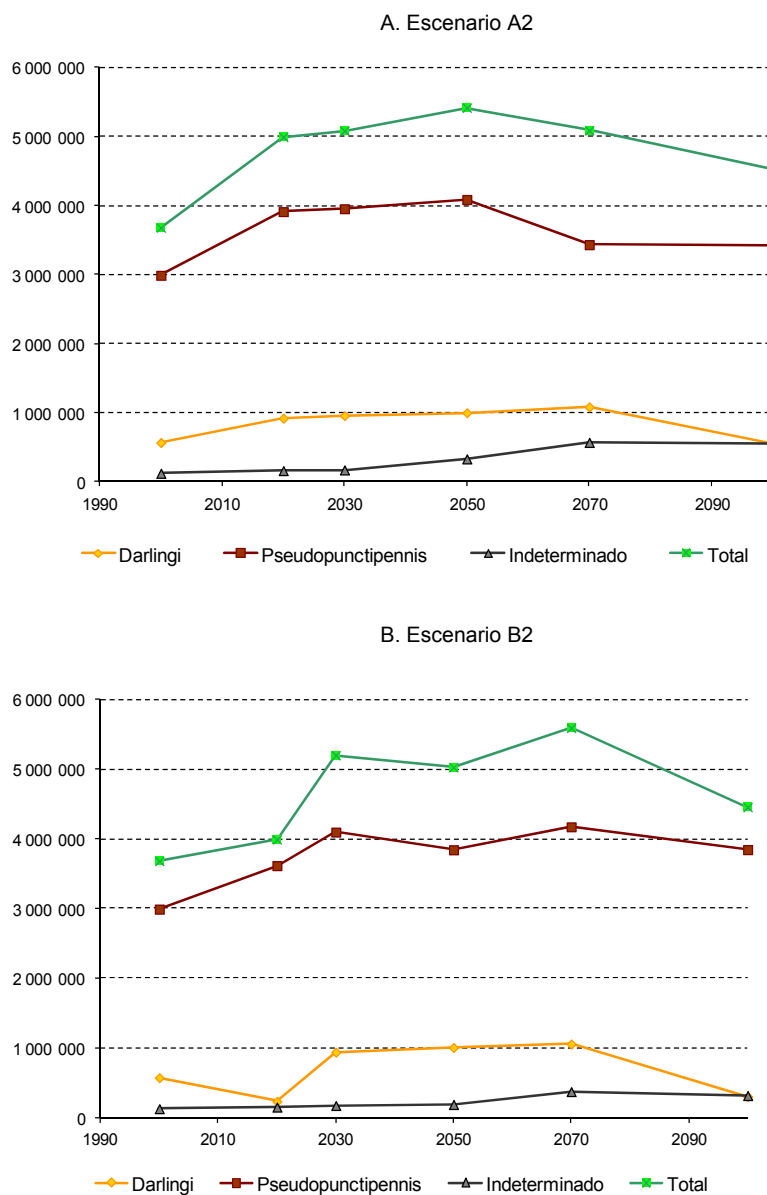


Fuente: Elaboración propia.

^a Se incluyen las provincias que presentan al menos 1 período con superficie, bajo riesgo de malaria, mayor a 500 km².

La cantidad de habitantes expuestos a riesgo de malaria muestra un aumento gradual y leve bajo el escenario A2. En el escenario B2, es más escalonado pero alcanza los mismos máximos en 2070. La mayor parte de la población expuesta se debe a la malaria por *Anopheles pseudopunctipennis* (NOA, gráfico 2). Al considerar el porcentaje de población expuesta, se sigue observando el aumento leve del riesgo, por lo cual parte del mismo se debería a la expansión de las distribuciones de los vectores y no sólo al aumento de la población total del país (gráfico 4). Debe notarse que si se considera el porcentaje de la población total bajo riesgo, el efecto de *Anopheles darlingi* parece más importante. Esto se debe a la expansión de su distribución potencial hacia el sur.

Gráfico 2
Total nacional de población expuesta en zonas con riesgo de malaria,
por corte temporal
 (En número de habitantes)



Fuente: Elaboración propia.

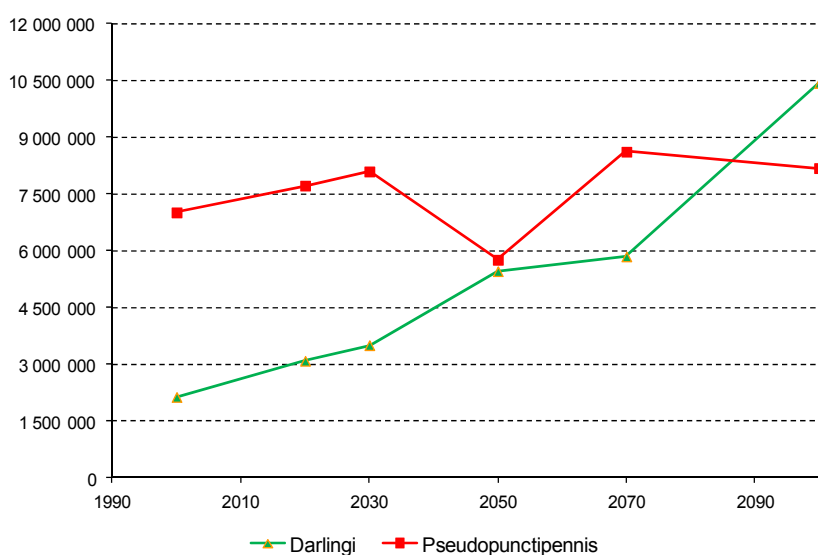
Con respecto a la cantidad de población expuesta en zonas de distribución potencial de vectores de malaria, se observa un aumento progresivo en el tiempo correspondiente a ambos vectores. Sin embargo, la ya mencionada expansión de la distribución de *Anopheles darlingi* es más notoria (gráfico 3). En el escenario A2, esto se mantiene cuando se considera el porcentaje de población expuesta (gráfico 4), mostrando que el aumento de población expuesta a *Anopheles pseudopunctipennis* se debe sólo al aumento demográfico humano. En el escenario B2, a partir de 2050, ambos vectores aumentan la población expuesta (tanto por su expansión de distribución como por aumento de la población total en el país).

Gráfico 3
Total nacional de población expuesta en zonas con potencial presencia de vectores de malaria, por corte temporal
 (En número de habitantes)

A. Escenario A2



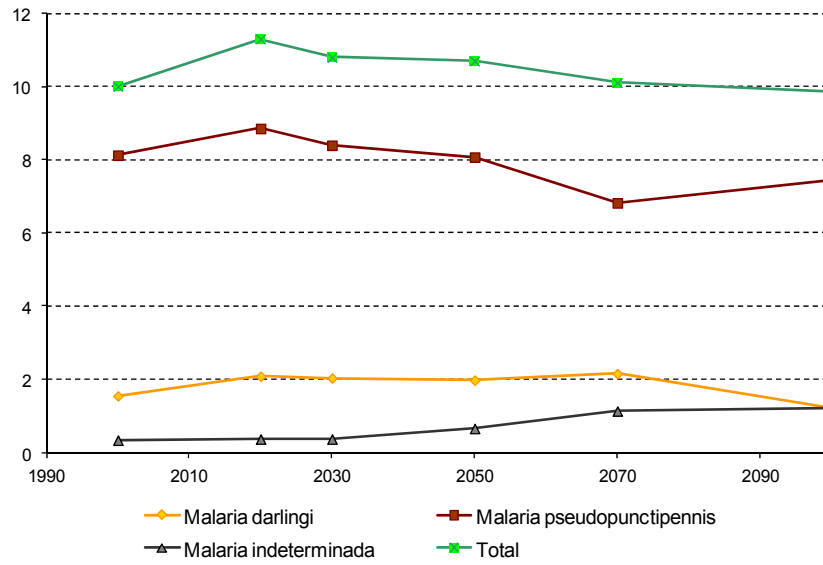
B. Escenario B2



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4
Total nacional de población expuesta en zonas con riesgo de malaria y potencial presencia de vectores, por corte temporal
(En porcentajes)

A. Escenario A2



B. Escenario B2

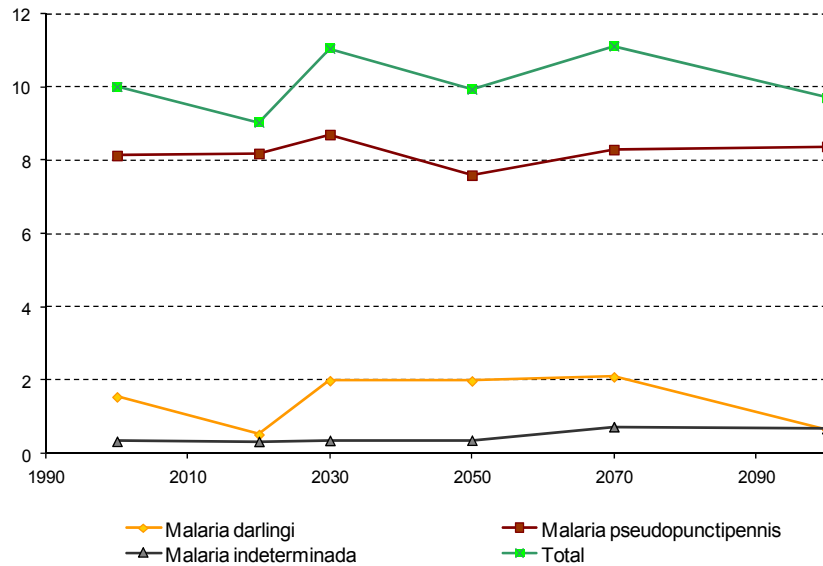
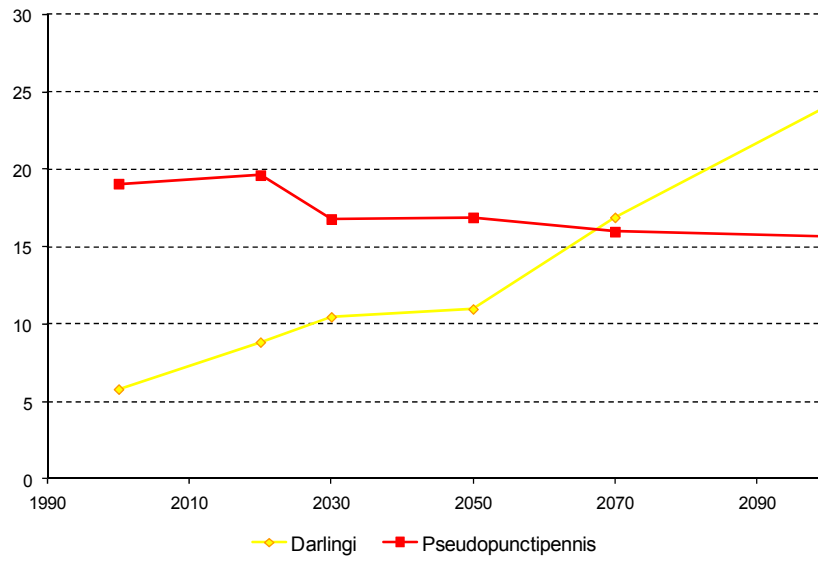
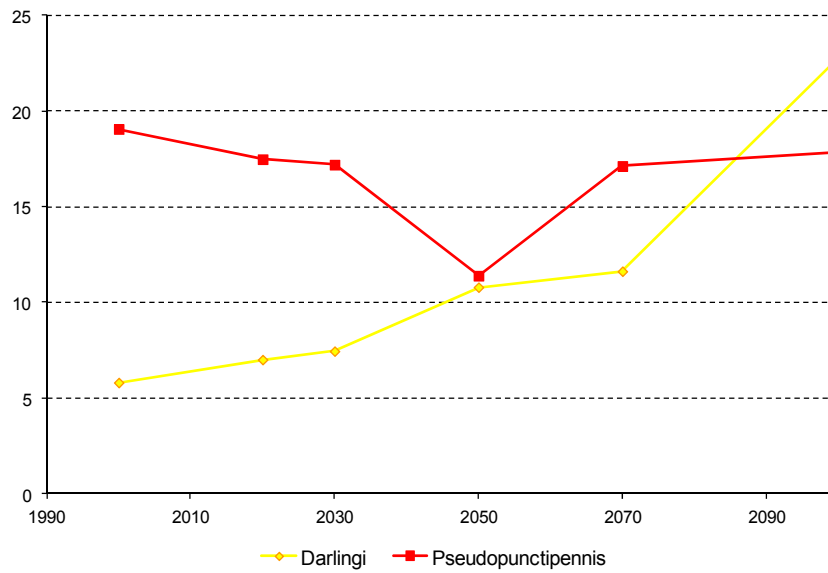


Gráfico 4 (conclusión)

C. Vectores A2



D. Vectores B2



Fuente: Elaboración propia.

C. Conclusiones

Los cambios de temperatura pronosticados sugieren que tanto la presencia de *Aedes aegypti* como la ocurrencia de casos de dengue y epidemias podrían extenderse hacia el sur en el futuro. Eso redundaría en una mayor cantidad de población expuesta a la enfermedad como una mayor proporción de la población total.

Las proyecciones, basadas sólo en la temperatura, indicarían una intensificación de la transmisión en las áreas endemo-epidémicas actuales y una expansión en el noroeste del país hacia el centro. Al considerar la potencial variación de la distribución de los vectores y la transmisión de malaria, en función de la temperatura y las precipitaciones, la población bajo riesgo parecería mantenerse como una fracción constante de la población total en ambos escenarios (entre 9% y 11%), hasta 2050. Luego, estos porcentajes se incrementarían en los dos escenarios, alcanzando la cifra del 13% en 2100, en el A2, y en 2070, en el caso del B2.

En los análisis realizados para malaria, no se observan extensiones tan significativas como las de riesgo de dengue, a excepción de la potencial distribución de *Anopheles darlingi*. Esto llama la atención sobre las predicciones basadas sólo en temperatura, las cuales muestran aumentos generalizados y con una tendencia clara de crecimiento en el futuro. Cuando la predicción se basa también en precipitaciones, los cambios serían menos marcados, o de resultados más oscilantes.

IV. Aportes a la estimación de costos

Para estimar los costos asociados al efecto del cambio climático sobre las enfermedades, se interactuó con el grupo de expertos encargados de la valoración económica del estudio de la economía del cambio climático en la Argentina.

Se buscó identificar con mayor precisión la proporción de la población bajo riesgo que podría contraer las enfermedades. Se entregó al grupo la bibliografía sobre los costos del dengue (Armien, Suaya et al., 2008; Suaya, Shepard et al., 2009), relacionada con diferentes estudios retrospectivos de casos en países de América Latina y Asia. También, se facilitó un estudio de impacto económico del dengue en Puerto Rico, en el curso de una década (1984-1994). Para la valorización de malaria, se aportó un estudio del Ministerio de Salud de Perú: “Impacto económico de la malaria en Perú”, y un análisis de costos de adaptación por cambio climático debido a malaria en el 2030, de Kristie L. Ebi.

A. Dengue

Los resultados presentados en este trabajo muestran que el dengue podría extender considerablemente su distribución frente a cambios de temperatura en el futuro. La proporción de población expuesta sería creciente para cada corte temporal. Por otro lado, debido a que el dengue es una enfermedad urbana, la sola variación de la temperatura podría extender su área de transmisión a ciudades anteriormente sin riesgo, ya que no es necesario un previo cambio del ambiente vegetal. Por supuesto, supeditado a que el vector estuviera presente. Sin embargo, para poder tener una mejor estimación de costos, es necesario relacionar la población bajo riesgo con la que padece la enfermedad.

Debido a las pocas epidemias sufridas en Argentina, no se cuenta con información suficiente para estos cálculos. Por ejemplo, en la epidemia de 1916 que afectara la provincia de Entre Ríos, la prevalencia varió entre el 20% y el 80% de la población de las ciudades afectadas (Gaudino, 1916). Por este motivo, se utilizó información de Brasil, entre 1995 y 2007. Agrupando por lustros los casos de dengue se obtuvo el promedio de casos por año. Se calculó el porcentaje de casos sobre el total de habitantes del país (ver cuadro 5). Debido a que casi la totalidad del territorio brasileño se encuentra bajo riesgo de dengue, se estimó que el 0,22% de la población bajo riesgo sufriría dengue por año. A pesar de que podría observarse una tendencia creciente del porcentaje, consideramos mejor tomar el valor

máximo, debido a que no podría suponerse que la proporción de casos aumentará continuamente: porque la población se va inmunizando y a que la serie de tiempo es corta para definir una tasa ajustada. La extrapolación al territorio argentino no es estricta, pero serviría como un indicador de grano grueso.

Cuadro 5
Porcentaje de la población bajo riesgo que sufrió dengue en Brasil

Lustro	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2004-2007
Casos por año	42 088	252 418	282 790	384 688
Población ^a	149 689 806	162 019 366	174 719 024	187 600 886
Casos (%)	0,03	0,16	0,22	0,21

Fuente: Elaboración propia.

^a Corresponde al primer año de cada lustro.

B. Malaria

Según la OMS, en 2003, el 9% de la población argentina estaba bajo riesgo de malaria. Este valor es similar a los obtenidos en el presente estudio, lo que indicaría que los cambios esperados para esta enfermedad consistirían principalmente en el aumento de casos de malaria debido al aumento de la población. Existe la posibilidad de que los vectores expandan su distribución, pero estaría sujeta a que el ambiente vegetal siguiera los cambios de temperatura y precipitación: por ejemplo, que los ambientes aptos para el vector se extendieran hacia el sur. Es esperable que la presión ejercida por la actividad agrícola dificulte esta expansión de ambientes naturales

V. Adaptación

Dentro de las posibles acciones que se pueden implementar al respecto están las siguientes:

A. Dengue

- Implementar un programa de control del vector y prevención de la enfermedad integrado y perdurable. No sólo en el área de transmisión (que bajaría el riesgo), sino también en las regiones próximas, pronosticadas como potenciales, en caso de cambio climático. De este modo se podría retrasar el avance del vector a zonas no infestadas y hasta prevenir la transmisión.
- Realizar campañas mediáticas y comunales de prevención de la enfermedad y de la cría de mosquitos. En especial, la importancia de no acumular recipientes con agua.
- Controlar el flujo de mercaderías que pudieran transportar huevos del vector *Aedes aegypti* (cubiertas usadas, recipientes). Esta medida podría retrasar la expansión del mosquito hacia zonas donde aún no se ha establecido.
- Vigilancia de las epidemias en países limítrofes, para actuar con rapidez en caso de epidemias en el país.
- Garantizar la transparencia y eficiencia del registro de casos de la enfermedad con encuestas epidemiológicas completas (lugares de residencia y trabajo, viajes recientes de los pacientes), gestionando toda la información nacional de modo integrado y público.

B. Malaria

- Realizar campañas mediáticas y comunales de prevención de la enfermedad. En especial, destinadas a las personas que viven en el monte o acceden a él por motivos laborales o turísticos.
- Garantizar la transparencia y eficiencia del registro de casos de la enfermedad con encuestas epidemiológicas completas (lugares de residencia y trabajo, viajes recientes de los pacientes), gestionando toda la información nacional de modo integrado y público.

Bibliografía

- Anderson, R. P., D. Lew, et al. (2003). "Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models." *Ecological Modelling* 162: 211-232.
- Armien, B., J. A. Suaya, et al. (2008). "Clinical characteristics and national economic cost of the 2005 dengue epidemic in Panama." *Am J Trop Med Hyg* 79(3): 364-71.
- Carbajo, A. E. (1997). Mapas de riesgo de transmisión de dengue por *Aedes aegypti* en la Argentina. Dto. Biología, FCEyN. UBA. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires: 90.
- Carbajo, A. E., M. Busch, et al. (2007). "Modelado de la distribución geográfica del síndrome pulmonar por hantavirus en la república Argentina." *Contribuciones Científicas*: 81-92.
- Carbajo, A. E., N. Schweigmann, et al. (2001). "Dengue transmission risk maps of Argentina." *Trop Med Int Health* 6(3): 170-80.
- Carbajo, A. E., D. Vezzani, et al. (2007). Mapas de riesgo de transmisión de paludismo en Argentina. X Simposio Internacional de Control Epidemiológico de Enfermedades Transmitidas por Vectores, Buenos Aires.
- Chan, N. Y., K. L. Ebi, et al. (1999). "An Integrated Assessment Framework for Climate Change and Infectious Diseases." *Environmental Health Perspectives* Volume 107(5): 329-337.
- Curto, S., A. Carbajo, et al. (2004). Representación cartográfica de una patología endemo-epidémica. Paludismo en Argentina (1970-2002). Contribuciones Científicas, Santa Fe, GEA Sociedad Argentina de Estudios Geográficos.
- Curto, S. I. and A. E. Carbajo (2007). Potential effects of the global climate change on some vector and rodent born diseases. Examples for Argentina. A Contribution to Understanding the Regional Impacts of Global Change in South America. P. L. d. S. Dias, W. C. Ribeiro and L. H. Nunes. Sao Paulo, Institute of Advanced Studies, Universidade de Sao Paulo: 418.
- Focks, D. A., D. G. Haile, et al. (1993). "Dynamic Life Table Model for *Ae aegypti* (Diptera: Culicidae): Simulation Results and Validation." *J. Med. Entomol.* 30(6): 1018-1028.
- Gaudino, N. M. (1916). "El dengue. Algunas consideraciones sobre la epidemia de Entre Ríos." *Rev. de Sanidad Mil.* 15: 617-627.
- Githeko, A., S. Lindsay, et al. (2000). "Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis." *Bulletin of the World Health Organization* 78(9): 1136-1147.
- Guisan, A. y N. E. Zimmermann (2000). "Predictive habitat distribution models in ecology." *Ecological Modelling* 135: 147-186.
- Hales, S., N. d. Wet, et al. (2002). "Potential effect of population and climate change on global distribution of dengue fever: an empirical model." *The Lancet* 360: 830-834.

- Hay, S. I., A. J. Tatem, et al. (2006). Population at malaria risk in Africa 2005, 2015 and 2030 Foresight. Infectious Diseases: preparing for the future Office of Science and Innovation, Department of Trade and Industry, UK. T8.2.
- Hopp, M. y J. Foley (2001). "Global-scale relationships between climate and the dengue fever vector, *Aedes aegypti*." *Climatic Change* 48: 441-463.
- Jetten, T. H. y D. A. Focks (1997). "Changes in the distribution of dengue transmission under climate warming scenarios." *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 57: 285-297.
- Kiszewski, A., A. Mellinger, et al. (2004). "A global index representing the stability of malaria transmission." *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 70(5): 486-498.
- Martens, W., T. Jetten, et al. (1997). "Sensitivity of malaria, schistosomiasis and dengue to global warming." *Climatic Change* 35: 145-156.
- Patz, J., W. Martens, et al. (1998). "Dengue fever epidemic potential as projected by general circulation models of global climate change." *Environmental Health Perspectives* 106(3): 147-153.
- Peterson, A. T. y J. Shaw (2003). "Lutzomyia vectors for cutaneous leishmaniasis in Southern Brazil: ecological niche models, predicted geographic distributions, and climate change effects." *International Journal for Parasitology* 33: 919-931.
- Stockwell, D. y D. Peters (1999). "The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction." *International Journal of Geographical Information Science* 13(2): 143-158.
- Suaya, J. A., D. S. Shepard, et al. (2009). "Cost of Dengue Cases in Eight Countries in the Americas and Asia: A Prospective Study." *Am J Trop Med Hyg* 80(5): 846-855.
- Sutherst, R. W. (2004). "Global Change and Human Vulnerability to Vector-Borne Diseases." *Clinical Microbiology Reviews* 17(1): 136-173.
- Sutton, T., R. de Giovanni, et al. (2007). "Introducing openModeller." *The Journal of the Open Source Geospatial Foundation* 1: 1-6.
- Vezzani, D. y A. E. Carbajo (2008). "Aedes aegypti, Aedes albopictus, and dengue in Argentina: current knowledge and future directions " *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz* 103(1): 66-74.
- WRI (1997). World Resources, 1996-1997. Washington, DC, World Resource Institute.

Anexo

Anexo 1

Cuadros complementarios

Cuadro A.1
Población expuesta a riesgo de dengue por provincia, escenario A2
(En habitantes)

Provincia	2000	2010	2020	2030	2050	2070	2100
Buenos Aires	46 475	206 867	10 943 853	19 654 699	18 861 619	23 196 581	29 535 921
Catamarca		48 958	57 637	65 625	86 274	446 270	511 431
Chaco	935 606	982 315	1 104 527	1 215 414	1 264 869	1 377 888	1 566 628
Córdoba	198 749	759 022	1 104 121	1 693 851	1 803 300	4 539 252	5 526 945
Corrientes	902 599	947 660	1 065 562	1 172 526	1 220 242	1 329 274	1 511 353
Entre Ríos	1 072 475	1 270 961	1 463 194	1 610 075	1 675 600	1 825 319	2 075 358
Formosa	456 345	479 130	538 735	592 822	616 943	672 071	764 132
Jujuy	3 896	4 090	8 372	9 213	37 742	360 277	409 629
La Pampa			123 560	373 680	431 569	470 490	547 316
La Rioja	5 628	28 940	36 721	56 186	66 176	355 671	420 760
Mendoza	8 328	0	19 664	31 810	88 559	96 473	446 317
Misiones	829 357	870 757	979 092	1 077 373	1 121 221	1 221 407	1 388 710
Río Negro					19 509	43 187	239 401
Salta	263 654	275 742	318 419	452 937	587 669	715 852	814 920
San Juan			443	487	1 899	7 861	513 227
San Luis	359	302	6 831	284 106	458 820	517 090	662 447
Santa Fe	2 615 881	3 244 834	3 944 292	4 340 246	4 516 866	4 920 456	5 594 459
Santiago del Estero	677 755	711 594	803 276	886 538	922 612	1 005 050	1 142 731
Tucumán	23 054	5 389	28 746	131 419	221 524	1 706 841	1 941 547

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A.2
Población expuesta a riesgo de dengue por provincia, escenario B2
(En habitantes)

Provincia	2020	2030	2050	2070	2100
Buenos Aires	238 167	12 327 807	19 122 268	22 204 809	27 100 231
Catamarca	55 051	63 424	77 919	138 567	141 355
Chaco	1 104 527	1 215 414	1 264 869	1 377 888	1 566 628
Córdoba	818 959	1 269 040	3 858 029	4 181 314	5 324 379
Corrientes	1 065 562	1 172 526	1 220 242	1 329 274	1 511 353
Entre Ríos	1 429 082	1 610 075	1 675 600	1 825 319	2 075 358
Formosa	538 735	592 822	616 943	672 071	764 132
Jujuy	4 599	9 213	9 588	150 560	48 228
La Pampa	16 615	335 750	195 649	470 490	534 934
La Rioja	33 845	56 186	63 105	68 745	114 036
Mendoza	19 664	28 630	33 104	96 473	167 732
Misiones	979 092	1 077 373	1 121 221	1 221 407	1 388 710
Río Negro	0	0	0	21 251	60 133
Salta	318 419	350 381	473 606	643 052	731 125
San Juan	443	487	1 899	2 070	2 353
San Luis	733	37 963	451 137	496 521	463 406
Santa Fe	3 663 112	4 340 246	4 516 866	4 920 456	5 594 459
Santiago del Estero	803 276	883 910	922 612	1 005 050	1 142 731
Tucumán	28 746	29 947	136 770	1 295 725	1 302 099

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A.3
Población expuesta a riesgo de malaria en la Argentina

Malaria	1998 ^a	2020	2030	2050	2070	2100
Población total	36 783 859	44 189 000	48 625 000	50 603 679	55 125 218	62 676 200
A2 Habitantes bajo riesgo	3 681 308	4 997 066	5 252 196	5 418 043	5 574 895	6 177 278
Porcentaje	10	11	11	11	11	13
B2 Habitantes bajo riesgo		3 992 181	5 371 659	5 028 338	6 126 864	6 083 561
Porcentaje		9	11	10	12	13

Fuente: Elaboración propia.

^a Se utilizó la población estimada para 2000.

Cuadro A.4
Población expuesta a riesgo de malaria por provincia, escenario A2
(En habitantes)

Provincia	Malaria	1998	2020	2030	2050	2070	2100	ctot	cpro
Jujuy	0,76	593 637	700 334	770 647	802 002	873 662	993 337	399 700	293 003
Salta	0,73	1 013 524	1 293 871	1 423 756	1 477 967	1 550 001	1 825 358	811 834	531 487
Tucumán	0,24	0	1 361 512	1 498 187	1 559 161	1 698 472	1 931 127	1 931 127	569 615
Misiones	0,17	679 268	979 092	1 058 874	1 057 656	1 221 407	741 020	61 752	-238 072
Catamarca		278 627	335 181	371 280	380 793	83 980	466 077	187 450	130 896
La Rioja		0	200 125	0	0	0	0	0	-200 125
Corrientes		23 695	103 026	108 151	123 611	134 656	209 536	185 841	106 510
Santiago del Estero		7 924	13 484	10 295	5 399	240	10 823	2 899	-2 661
Mendoza		0	10 002	11 006	11 454	12 477	0	0	-10 002
Córdoba		0	439	0	0	0	0	0	-439
Formosa		278	0	0	0	0	0	-278	0

Fuente: Elaboración propia.

^a "ctot" indica la diferencia entre 2100 y 2000; "cpro" indica la diferencia entre 2100 y 2020.

Cuadro A.5
Población expuesta a riesgo de malaria por provincia, escenario B2
(En habitantes)

Provincia	Malaria	1998	2020	2030	2050	2070	2100	ctot	cpro
Jujuy	0,76	593 637	699 734	769 986	802 002	873 662	993 337	399 700	293 603
Salta	0,73	1 013 524	1 243 780	1 368 637	1 338 302	1 605 408	1 758 809	745 285	515 029
Tucumán	0,24	0	1 359 926	1 500 047	1 557 344	1 698 472	1 931 127	1 931 127	571 201
Misiones	0,17	679 268	387 185	1 064 346	1 070 955	1 166 649	505 361	-173 907	118 176
Catamarca		278 627	283 256	348 728	137 749	391 545	138 454	-140 173	-144 802
Santiago del Estero		7 924	18 300	23 820	9 598	19 044	13 203	5 279	-5 097
Mendoza		0	0	0	0	0	400 138	400 138	400 138
La Rioja		0	0	220 215	0	249 653	285 842	285 842	285 842
Corrientes		23 695	0	75 880	112 388	122 431	57 290	33 595	57 290
Formosa		278	0	0	0	0	0	-278	0
Córdoba		0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

^a "ctot" indica la diferencia entre 2100 y 2000; "cpro" indica la diferencia entre 2100 y 2020.



NACIONES UNIDAS

Serie**CEPAL****Medio Ambiente y Desarrollo****Números publicados**

Un listado completo así como los archivos pdf están disponibles en

www.cepal.org/publicaciones

159. Evaluación de los impactos del cambio climático sobre la salud: economía del cambio climático en la Argentina, Aníbal E. Carbajo (LC/L. 4084), octubre 2015. Email: acarbajo@unsam.edu.ar, erecc.lac@cepal.org.
158. Tipología de instrumentos de derecho público ambiental internacional, Marcos A. Orellana (LC/L. 3912), octubre 2014. Email: carlos.demiguel@cepal.org
157. La estimación de los efectos de los desastres en América Latina, 1972-2010, Omar Bello, Laura Ortiz, Joseluis Samaniego (LC/L.3899), septiembre 2014. Email: omar.bello@cepal.org
156. Paradojas y riesgos del crecimiento económico en América Latina y el Caribe: una visión ambiental de largo plazo, Luis Miguel Galindo, Joseluis Samaniego, José Eduardo Alatorre, Jimy Ferrer, Orlando Reyes (LC/L.3868), junio 2014. Email: luismiguel.galindo@cepal.org.
155. Evaluación de impactos del cambio climático sobre la producción agrícola en la Argentina, Ana María Murgida, María Isabel Travasso, Silvia González, Gabriel R. Rodríguez (LC/L.3770), diciembre 2013. Email: carlos.demiguel@cepal.org, erecc.lac@cepal.org.
154. Escenarios hidrológicos de caudales medios del río Paraná y Uruguay, Vicente Barros (LC/L.3741), octubre 2013. Email: carlos.demiguel@cepal.org, erecc.lac@cepal.org.
153. Incidencia distributiva del impuesto a los combustibles en el Gran Santiago, Diego Vivanco Vargas (LC/L.3730), octubre 2013. Email: carlos.demiguel@cepal.org, erecc.lac@cepal.org.
152. Evaluación de los impactos del cambio climático sobre el ecosistema natural y la biodiversidad. Esteros del Iberá (Argentina) (LC/L 3728), octubre 2013. Email: carlos.demiguel@cepal.org.
151. Acceso a la información participación y justicia en temas ambientales en América Latina y el Caribe. Situación actual, perspectivas y ejemplos de buenas prácticas. Valeria Torres, Carlos de Miguel (LC/L. 3549-Rev 2), octubre 2013. Email: carlos.demiguel@cepal.org.
150. Climate change and reduction of CO2 emissions: the role of developing countries in carbon trade markets. Carlos Ludeña, Carlos de Miguel, Andres Schuschny (LC/L.3608), diciembre 2012. Email: carlos.demiguel@cepal.org.
149. Disponibilidad futura de los recursos hídricos frente a escenarios de cambio climático en Chile. Ximena Vargas, Álvaro Ayala, Rodrigo Meza, Eduardo Rubio (LC/L. 3592), diciembre 2012. Email: carlos.demiguel@cepal.org, erecc.lac@cepal.org.
148. Efecto del cambio climático en la salud pública en Colombia: estudio de caso malaria y dengue. Viviana Cerón y Salua Osorio Mrad (LC/L.3587), marzo 2013. Email: carlos.demiguel@cepal.org, erecc.lac@cepal.org.
147. Desarrollo de una función agroclimática para estimar productividad de los cultivos agrícolas en Colombia. J. Francisco Boshell V. (LC/L.3586), marzo 2013. Email: carlos.demiguel@cepal.org, erecc.lac@cepal.org.
146. Panorama del cambio climático en Colombia. Javier Blanco (LC/L.3585) marzo 2013. Email: carlos.demiguel@cepal.org, erecc.lac@cepal.org.
145. Análisis de la vulnerabilidad del sector hidroeléctrico frente a escenarios futuros de cambio climático en Chile. James McPhee Eduardo Rubio, Rodrigo Meza, Álvaro Ayala (LC/L.3599), diciembre 2012. Email: carlos.demiguel@cepal.org, erecc.lac@cepal.org.

MEDIO AMBIENTE Y
DESARROLLO

159

MEDIO AMBIENTE Y
DESARROLLO

MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

Series

C E P A L

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE
ECONOMIC COMMISSION FOR LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN
www.cepal.org