

# Metodología de la División de Población de Naciones Unidas para las proyecciones de población: *World Population Prospects 2017*

Santa Fe, Argentina - 20 de septiembre de 2017

**Lina Bassarsky (UNPD)**

Con colaboración de Guiomar Bay (CELADE) (gracias!)

[www.unpopulation.org](http://www.unpopulation.org)

Taller de proyecciones de población en América Latina.  
Metodologías y desafíos futuros



# I. Características generales de *World Population Prospects* (WPP)



# *World Population Prospects*

- **Frecuencia:** revisión y actualización de estimaciones y proyecciones cada 2 años; (julio 2017: WPP 2017)
- **Geográfica:** 233 países/áreas; 30+ unidades geográficas y socioeconómicas agregadas
- **Temporal:** Periodos quinquenales 1950-2100 (población base 1 julio de 2015); interpolaciones anuales.
- **Resultados:** Población → grupos quinquenales de edad por sexo; Componentes → nivel y estructura de la fecundidad y de la mortalidad, saldo migratorio, eventos vitales...
- **Proyección:** Variante media; 8 escenarios; rev 2010 → Proyecciones probabilísticas ofreciendo intervalos de credibilidad (80%, 95%)





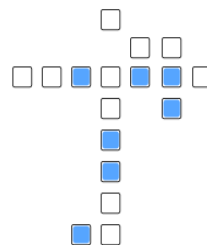
The **2017 Revision of World Population Prospects** is the twenty-fifth round of official United Nations population estimates and projections that have been prepared by the Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat. The main results are presented in a series of Excel files displaying key demographic indicators for each development group, income group, region, subregion and country or area for selected periods or dates within 1950-2100. A publication labelled Key findings and advance tables, which provide insights on the results of this latest revision, is also made available.

Quick Navigation

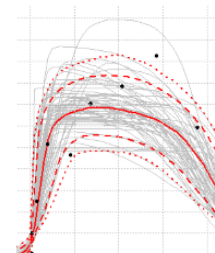
[www.unpopulation.org](http://www.unpopulation.org)



Download Data Files



Interactive Data



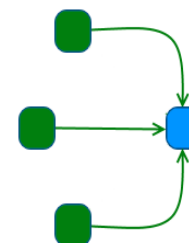
Graphs



Press Release



Key Findings (PDF)



Data Sources

**Disclaimer:** This web site contains data tables, figures, maps, analyses and technical notes from the current revision of the World Population Prospects. These documents do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries.

[Leave feedback about this page](#)



# WPP (revisión 2017)

- Proyección por el método de los componentes
- Basada de forma general en la teoría de la transición demográfica
- Combinación de métodos determinísticos y probabilísticos bayesianos
- La proyección “**media**” (**variante media**) de la población es la **trayectoria mediana** de la distribución de probabilidades derivadas de los métodos probabilísticos aplicados
- Para cada país, los procedimientos de proyección probabilística calibran datos del propio país y de otros países

Dando más peso a la trayectoria del propio país, si existen suficientes “datos”;

Dando más peso a trayectorias de otros países, si los “datos” para derivar la tendencia futura son escasos

>> componente jerárquico



# Teoría → Estructura del modelo

- **Fecundidad:** 3 fases de transición de altos a bajos niveles de TGF, seguido típicamente por fluctuaciones y recuperación moderada alrededor del nivel de reemplazo generacional
- **Mortalidad:** 2 fases de ganancias de  $e_0$  (logística doble - cambio lento-rápido-lento), que es siempre positiva y aproximadamente lineal en la fase final

® Método probabilístico de series temporales modelando el proceso de transición demográfica con funciones paramétricas, incorporando un componente jerárquico



## II. Estadística bayesiana: conceptos básicos



# Conceptos básicos de estadística bayesiana (\*)

*Para dummies*

- Ciencia estadística (~ ← 1990s)
  - Frecuentistas (clásica)
  - Bayesianos (Thomas Bayes, 1763)
- En la actualidad, la estadística bayesiana, en particular la inferencia bayesiana, se encuentra más aceptada y extendida.
- Sus visiones son diferentes sobre:
  1. El significado de “probabilidad”
  2. Cómo estimar parámetros a partir de datos (modelar)
  3. Cómo realizar estimaciones y tests de hipótesis (análisis)

Teorema de Bayes





6

# THE BAYESIAN APPROACH TO STATISTICS

ANTHONY O'HAGAN

## INTRODUCTION

for the most widely taught and used statistical methods in practice are those of the frequentist. The ideas of frequentist inference, after 50 years of this book, rest on a foundation of probability (Chap. 1). In the first half of the book, we discuss the Bayesian approach to statistics.

## Population Studies A Journal of Demography

Routledge  
Taylor & Francis Group

ISSN: 0032-4728 (Print) 1477-4747 (Online) Journal homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/rpst20>

## Bayesian demography 250 years after Bayes

Jakub Bijak & John Bryant

To cite this article: Jakub Bijak & John Bryant (2016) Bayesian demography 250 years after Bayes, *Population Studies*, 70:1, 1-19, DOI: 10.1080/00324728.2015.1122826

To link to this article: <http://dx.doi.org/10.1080/00324728.2015.1122826>



© 2016 The Author(s). Published by Taylor & Francis



Published online: 23 Feb 2016



Submit your article to this journal



Article views: 1807



View related articles

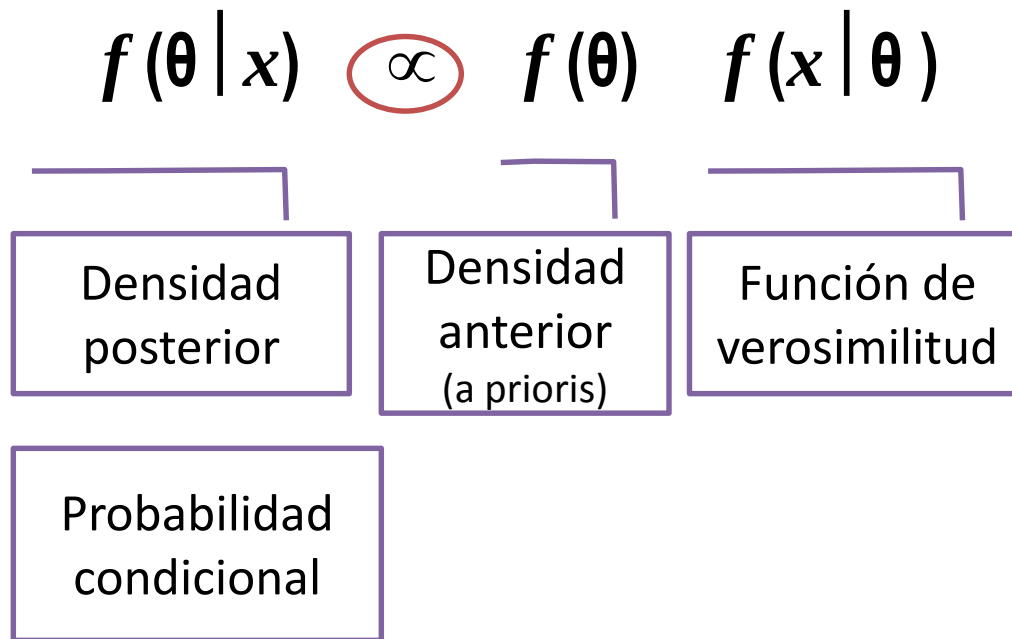


View Crossmark data

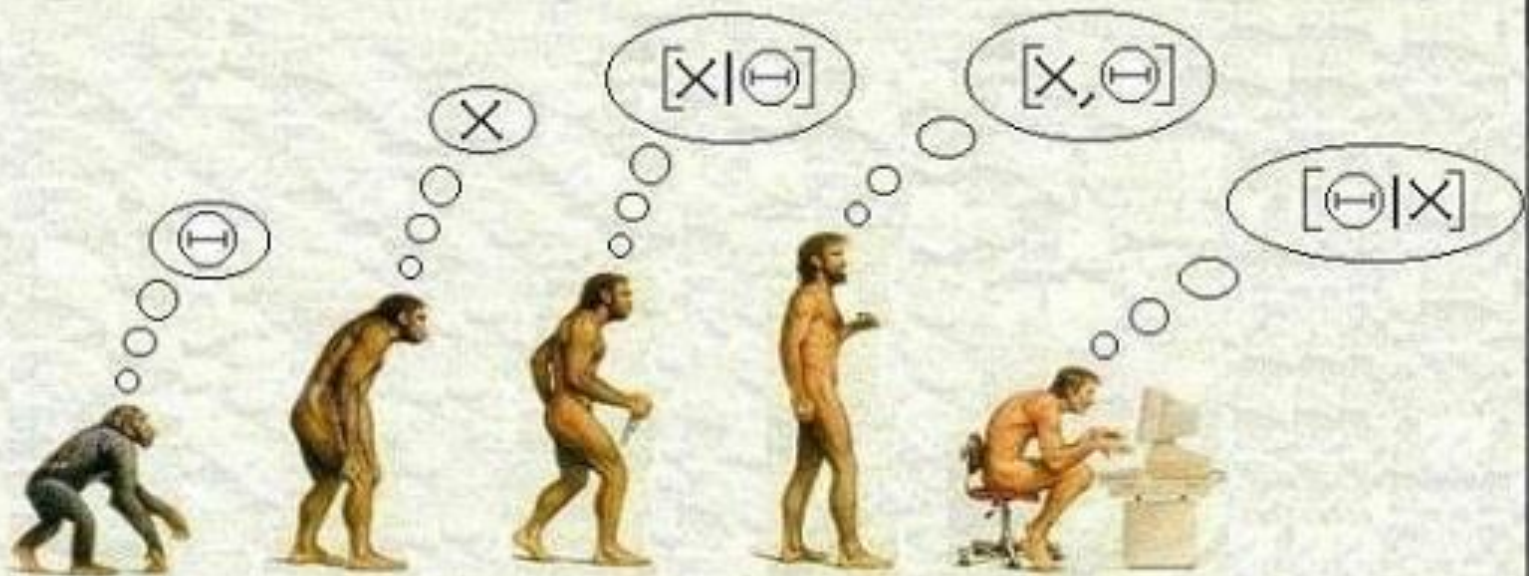


# Modelización: el teorema de Bayes

- Objetivo general: hacer inferencias sobre un parámetro desconocido
- Proceso de aprendizaje a partir de la incorporación de datos a conocimientos iniciales:
- Uso datos ( $x$ ) para aprender sobre el parámetro ( $\theta$ ).



(YET ANOTHER) HISTORY OF LIFE AS WE KNOW IT...



**HOMO**  
**APRIORIUS**

**HOMO**  
**PRAGMATICUS**

**HOMO**  
**FREQUENTISTUS**

**HOMO**  
**SAPIENS**

**HOMO**  
**BAYESIANIS**

# Análisis: Derivar inferencias

- Derivar inferencias a partir de la distribución posterior
  - Aproximación Monte Carlo → Muestro de la distribución posterior
  - Cadenas de Markov → para distribuciones posteriores complejas y multidimensionales. Cada extracto de muestra depende del anterior



- Cadena de Markov Monte Carlo (MCMC)

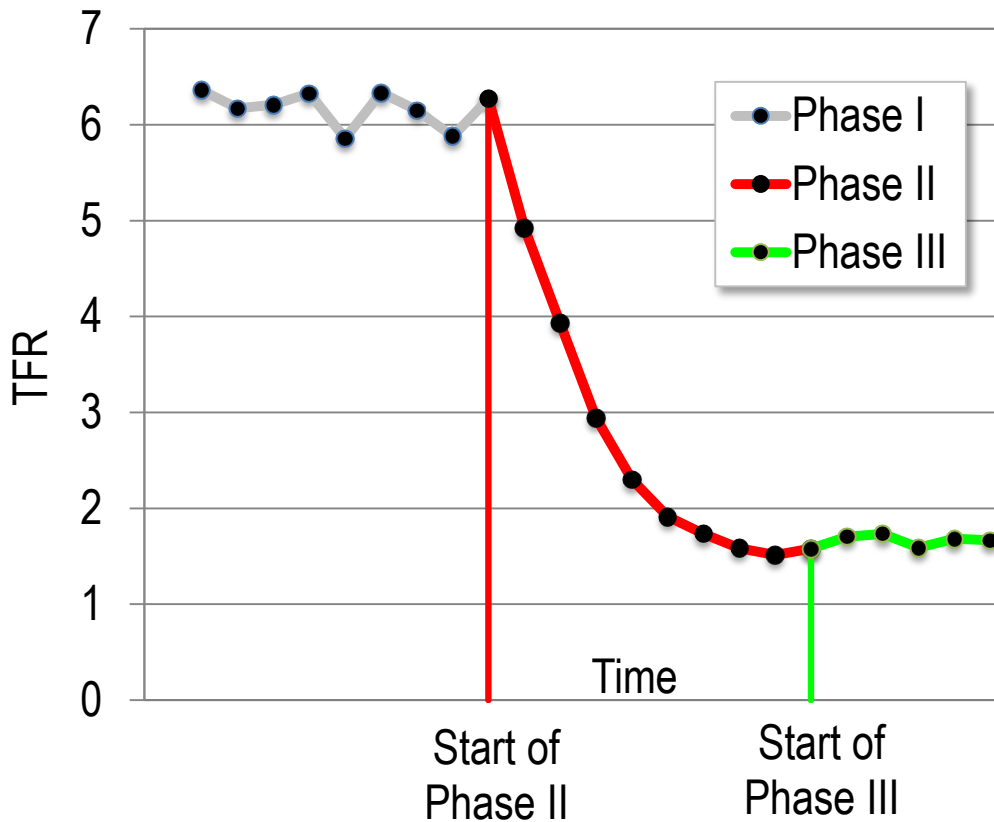
# Motivación: aplicaciones del métodos bayesianos jerárquicos aWPP

## Algunos argumentos:

- Refleja incertidumbre en las proyecciones demográficas; nos permite ir mas allá de los escenarios determinísticos que resultan meramente ilustrativos
- formalizar y ser más sistemáticos, explicitar los modelos y los supuestos de la proyección
- permite usar información del pasado más rigurosa y objetivamente
- facilita la réplica y permite la validación fuera de la muestra
- es más transparente sobre los métodos/procedimientos usados
- ayuda a cuantificar la incertidumbre sobre el futuro

# III. Proyección del nivel de la fecundidad

1. TG: modelo para países con nivel alto y medio de fecundidad
2. TG: modelo para países con bajo nivel de fecundidad



### 3 fases:

Fase I: pre-transicional de alta fecundidad, **no es modelada**

Fase II: descenso por debajo del nivel de reemplazo, **modelada con una función logística doble, usando un modelo bayesiano jerárquico**

Fase III: post-transicional de baja fecundidad y fluctuaciones, **modelada con un modelo de serie temporales autorregresivo, AR (1), en un marco bayesiano jerárquico**

# Modelo de descenso de TG en Fase II

- Uso las estimaciones de NU 1950-2015
- Supuesto: TG descenderá hacia el nivel de reemplazo.
- Determinar cuando empieza y cuando termina la Fase 2
- Descenso:
  - Lento al inicio, con altos niveles de fecundidad
  - Aceleración, con max. alrededor de TGF=5
  - Desaceleración hacia el final de la transición
  - Finaliza a niveles por debajo de reemplazo
- Modelado en función del nivel
  - Decrementos quinquenales ( $t$ ,  $t+5$ )
  - Comportamiento como una doble función logística (suma de 2 funciones logísticas), con forma de U invertida, para cada país y para el mundo.



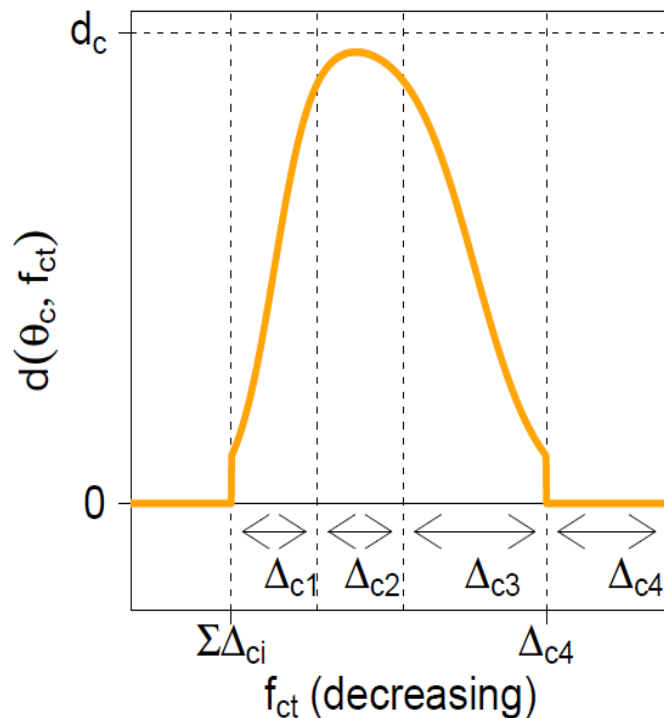
# Transformación de la función de decremento

- TG para país  $c$  y para el periodo quinquenal  $t+1$ 
  - $f_{c,t+1} = f_{c,t} - d(\beta, f_{c,t})$
  - $d(, )$  función logística doble
  - $\beta$  vector de parámetros
- Hacer  $f_{c,t+1} = f_{c,t} - d(\beta, f_{c,t})$  probabilística
  - Estimando parámetros de la función de decremento  $d(\theta, f_{c,t})$   
**por país**
  - Término de error aleatorio >>

>> Paseo aleatorio con deriva no constante

$$f_{c,t+1} = f_{c,t} - d(\theta_c, f_{c,t}) + \epsilon_{c,t}$$

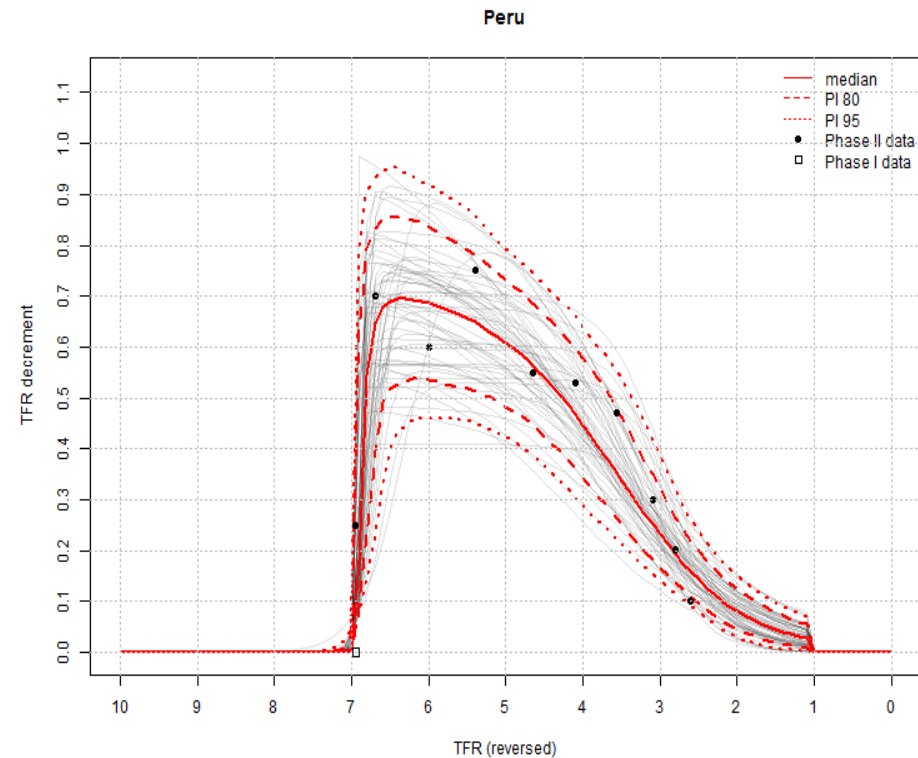
$$d(\theta_c, f_{c,t}) = d_c \left( \frac{-1}{1 + \exp(-\frac{\ln(81)}{\Delta_{c1}}(f_{c,t} - \sum_i \Delta_{ci} + 0.5\Delta_{c1}))} + \frac{1}{1 + \exp(-\frac{\ln(81)}{\Delta_{c3}}(f_{c,t} - \Delta_{c4} - 0.5\Delta_{c3}))} \right)$$



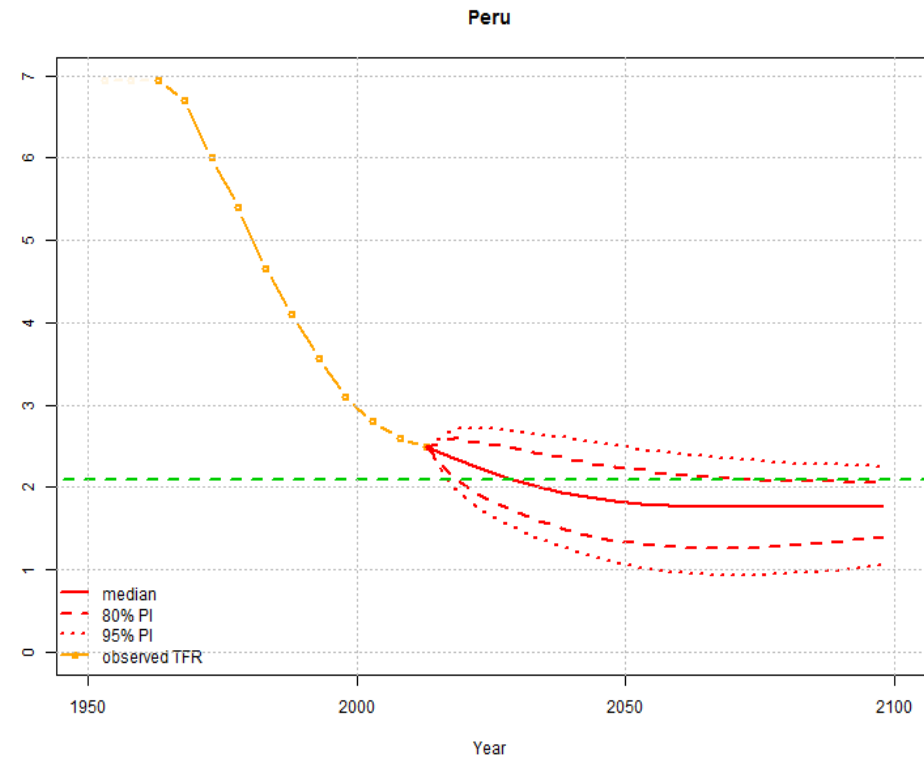
- $\theta_c = (\Delta_{c1}, \Delta_{c2}, \Delta_{c3}, \Delta_{c4}, d_c)$
- Nivel inicial  $U_c = \sum_i \Delta_{ci}$  observado, o estimado si inicio del descenso  $\leq 1950$ , con prior  $U_c \sim U[5.5, 8.8]$
- $\Delta_{c4}$  es el nivel final de la transición (aumenta con los niveles actuales de TGF)
- Decrem. quinq. máximo  $d_c$  entre 0.25 y 2.5 hijos:  
 $d'_c = 2.5 \cdot \text{Logit}(d_c - 0.25) \sim N(\chi, \psi^2)$
- Para  $i = 1, 2, 3$  proporciones  $p_{ci} = \frac{\Delta_{ci}}{\sum_{i=1}^3 \Delta_{ci}}$
- Estimar estos parámetros con un modelo bayesiano jerárquico

# Ejemplo de la función de decremento

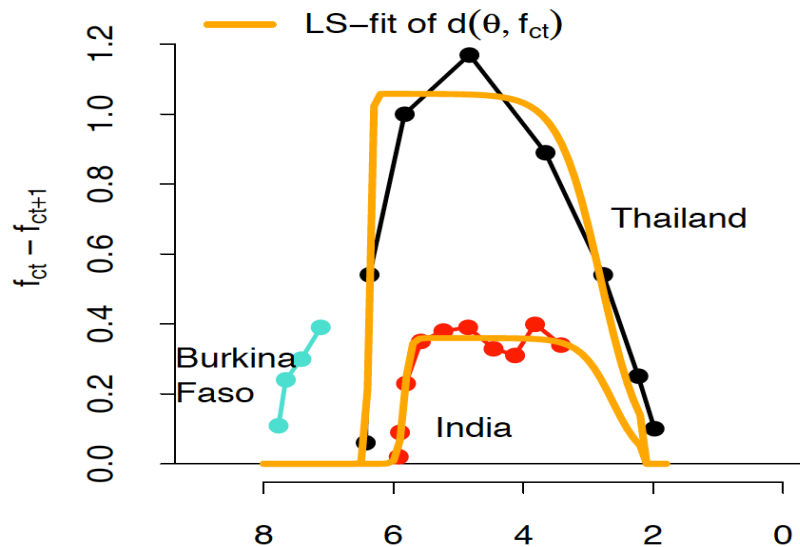
## Función de decremento



## Proyección probabilística de TG



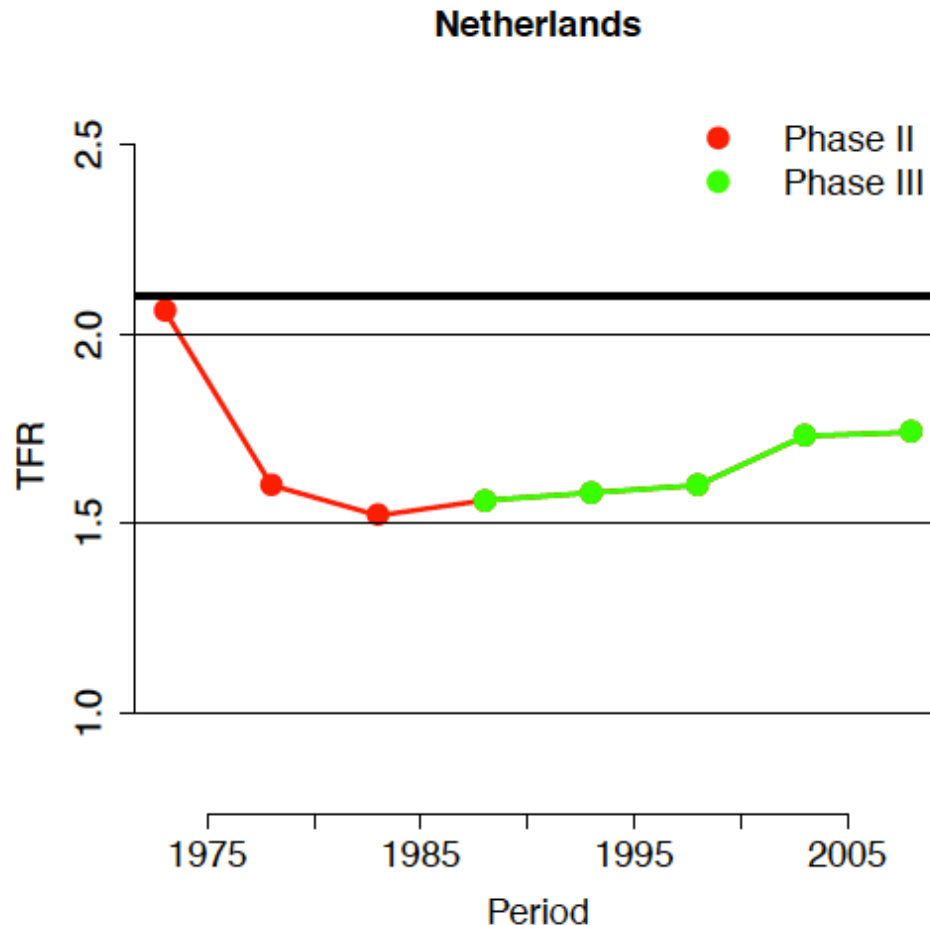
# Modelo jerárquico



- Trayectorias parciales (?)
- Solución: Para cada país, usar información de otros países:
- Modelo jerárquico:

- Parámetros de la función logística doble para un país distribuidos alrededor de la “media global”
- Estimación simultánea de los parámetros del mundo y de cada país
- Basado en observaciones de los decrementos en todos los países, determinando el rango posible de curvas
  - Se obtienen curvas específicas para cada país
  - Se combinan los resultados, con las trayectorias observadas en el país

# Modelo de proyección de TG en Fase III



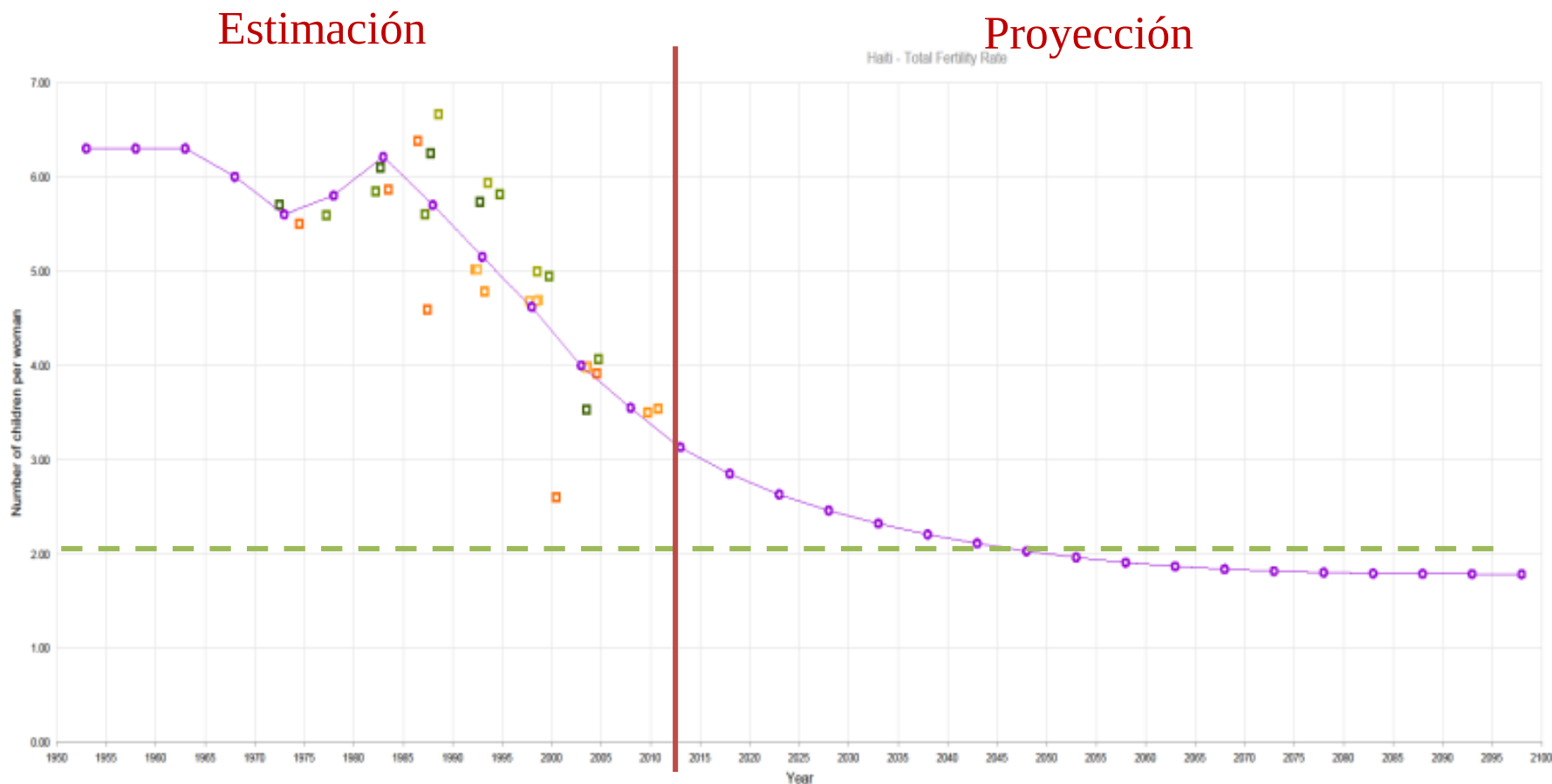
○ Inicio de la Fase III (= fin de la Fase II),

definido por la observación durante dos periodos consecutivos de la recuperación de TG < El punto medio marca el inicio de la fase.

○ Modelo AR(1)

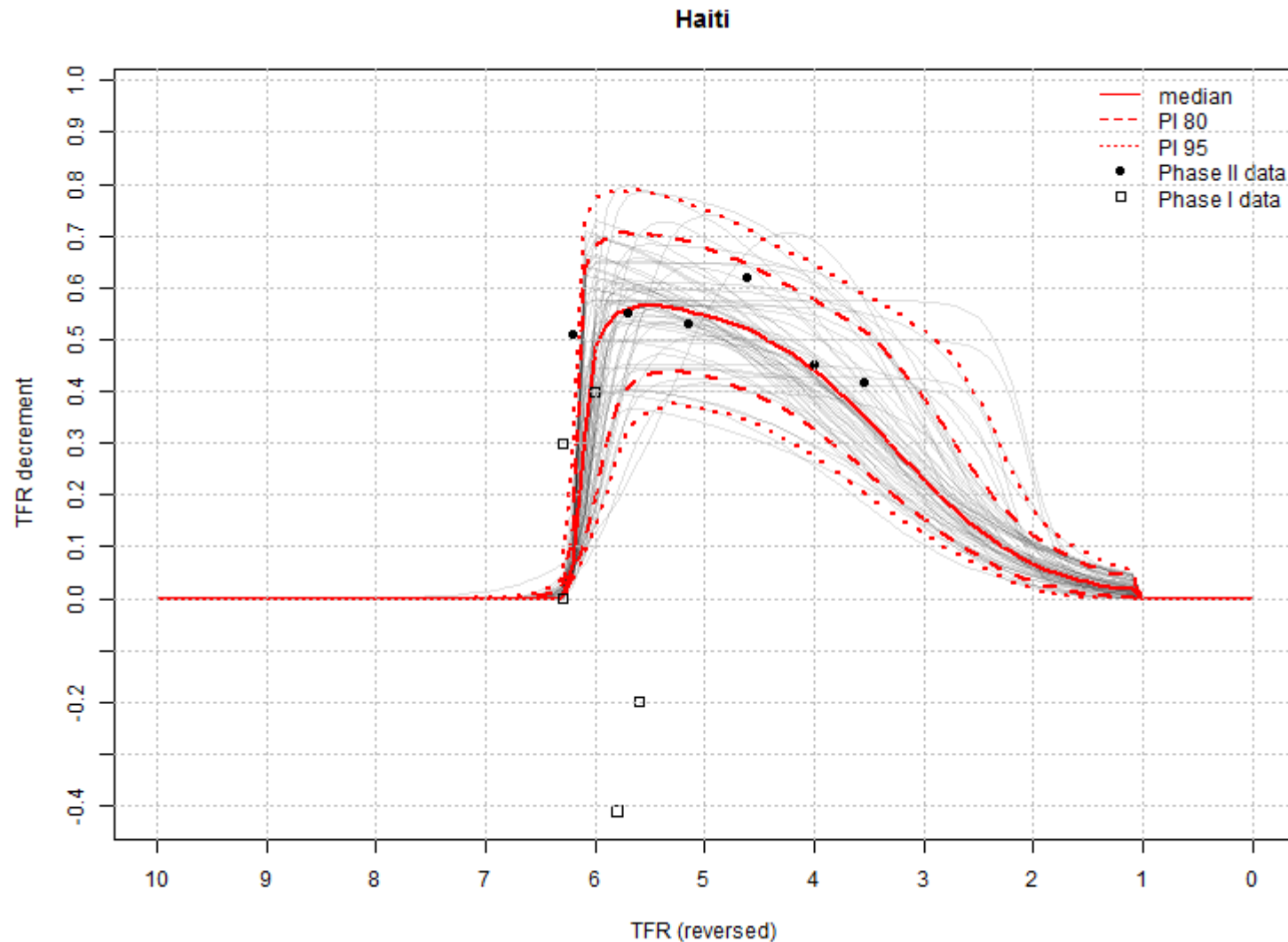
## TGF Haití, WPP 2017

Datos empíricos; estimación 1950-2015; proyección media 2015-2100



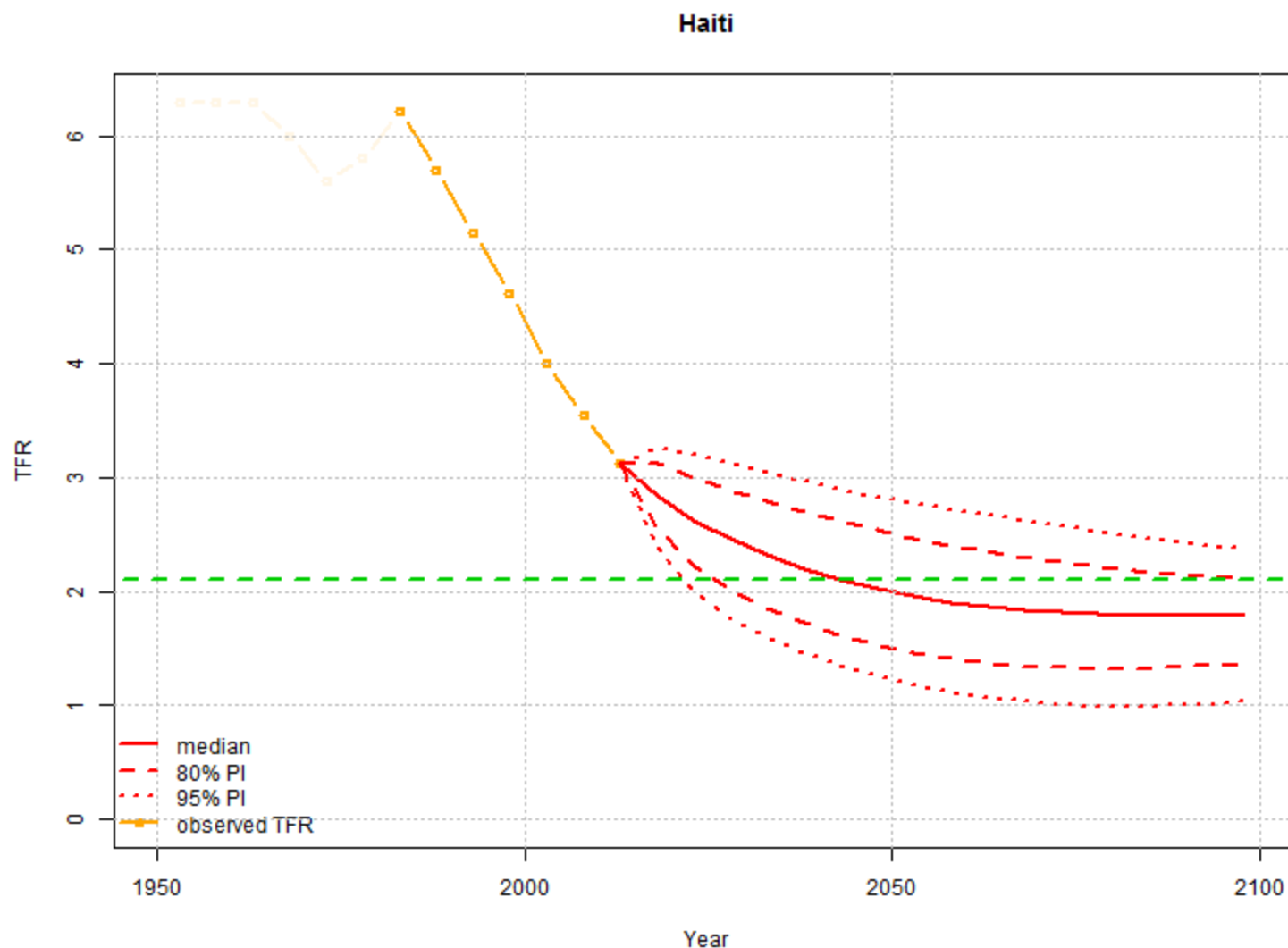
## TGF Haití, WPP 2017

Función de decrementos; decrementos observados; decrementos esperados



# TGF Haití, WPP 2017

Estimación 1950-2015; proyección media 2015-2100; e intervalos de credibilidad



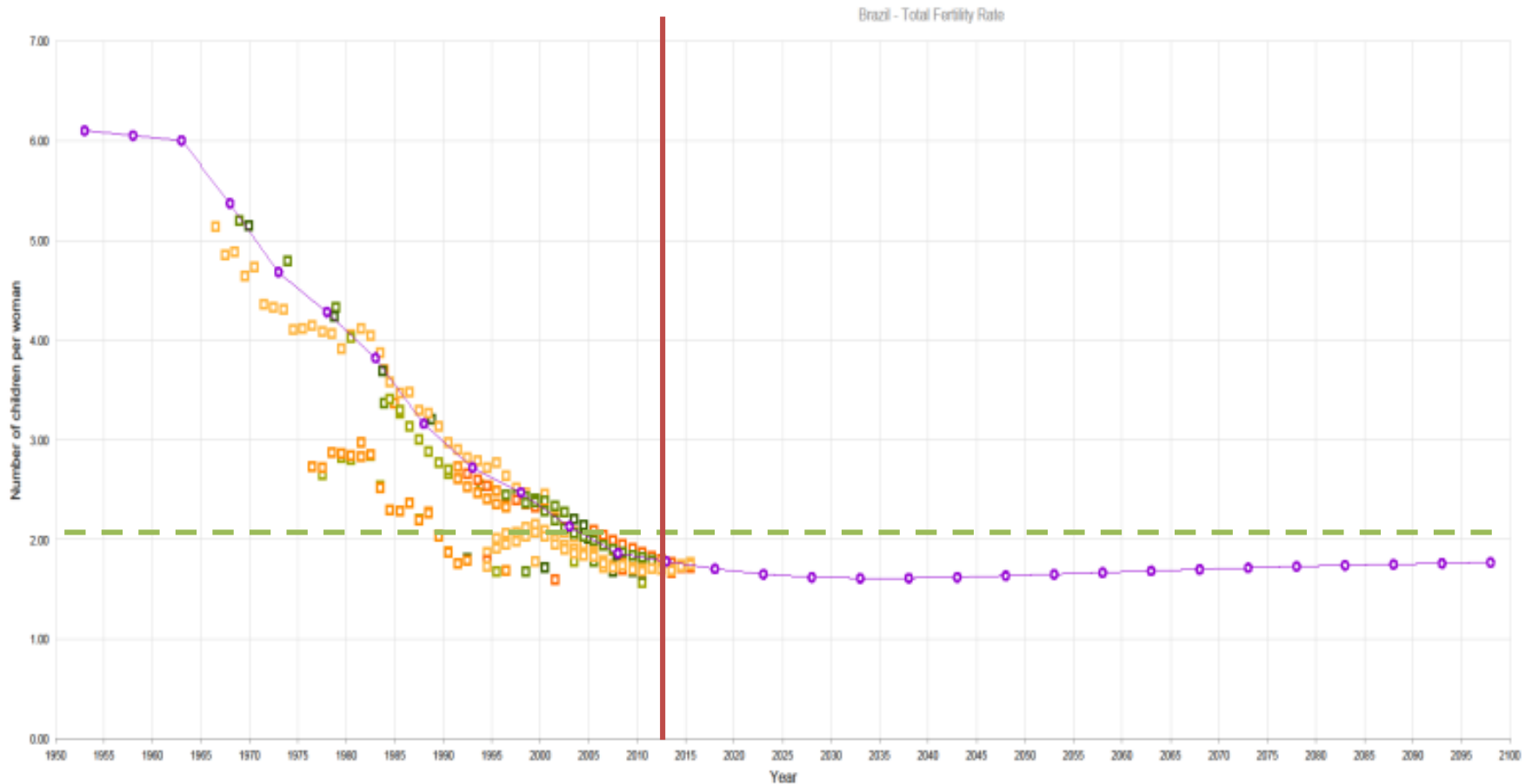


## TGF Brasil, WPP 2017

Datos empíricos; estimación 1950-2015; proyección media 2015-2100

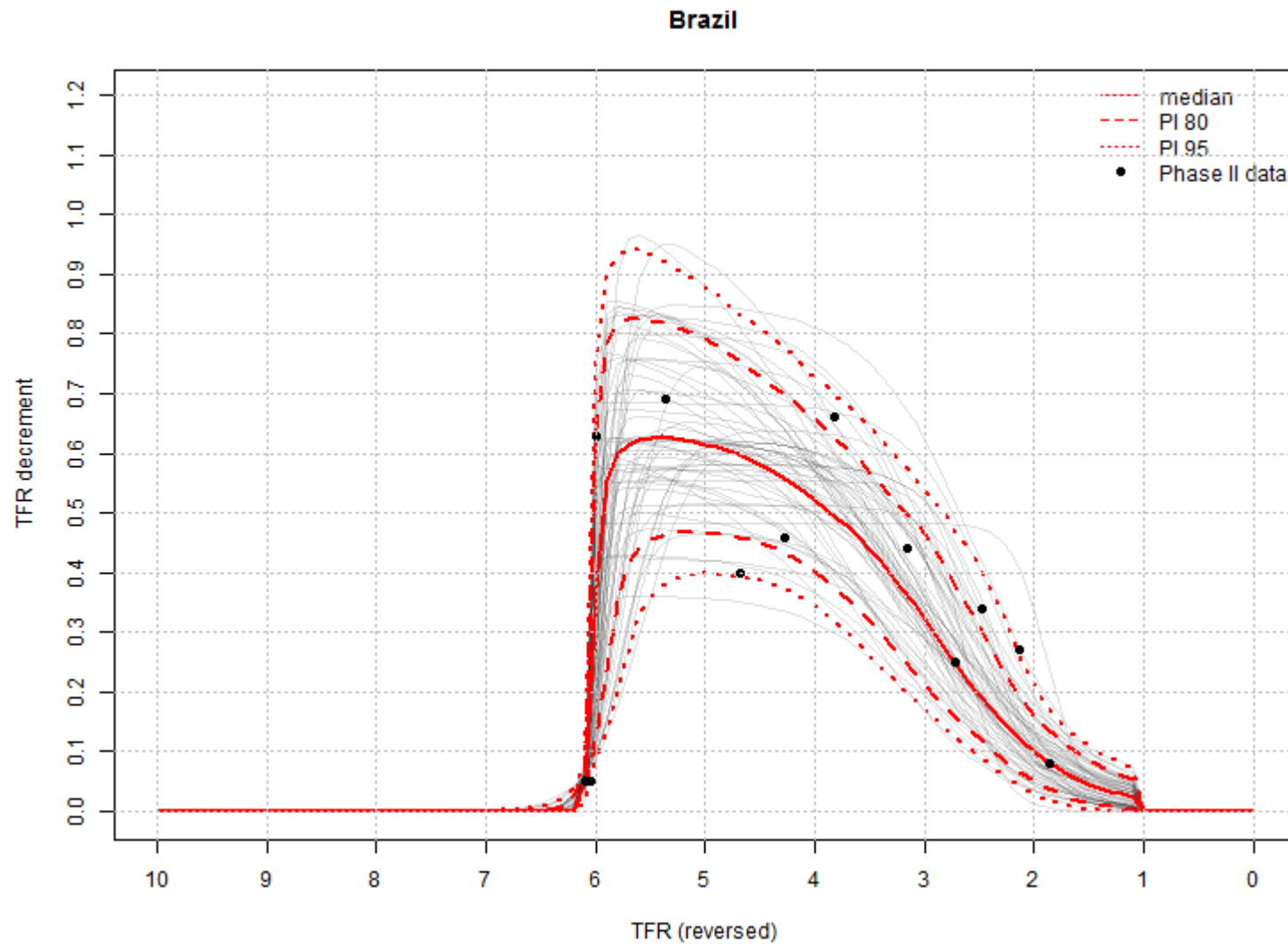
Estimación

Proyección



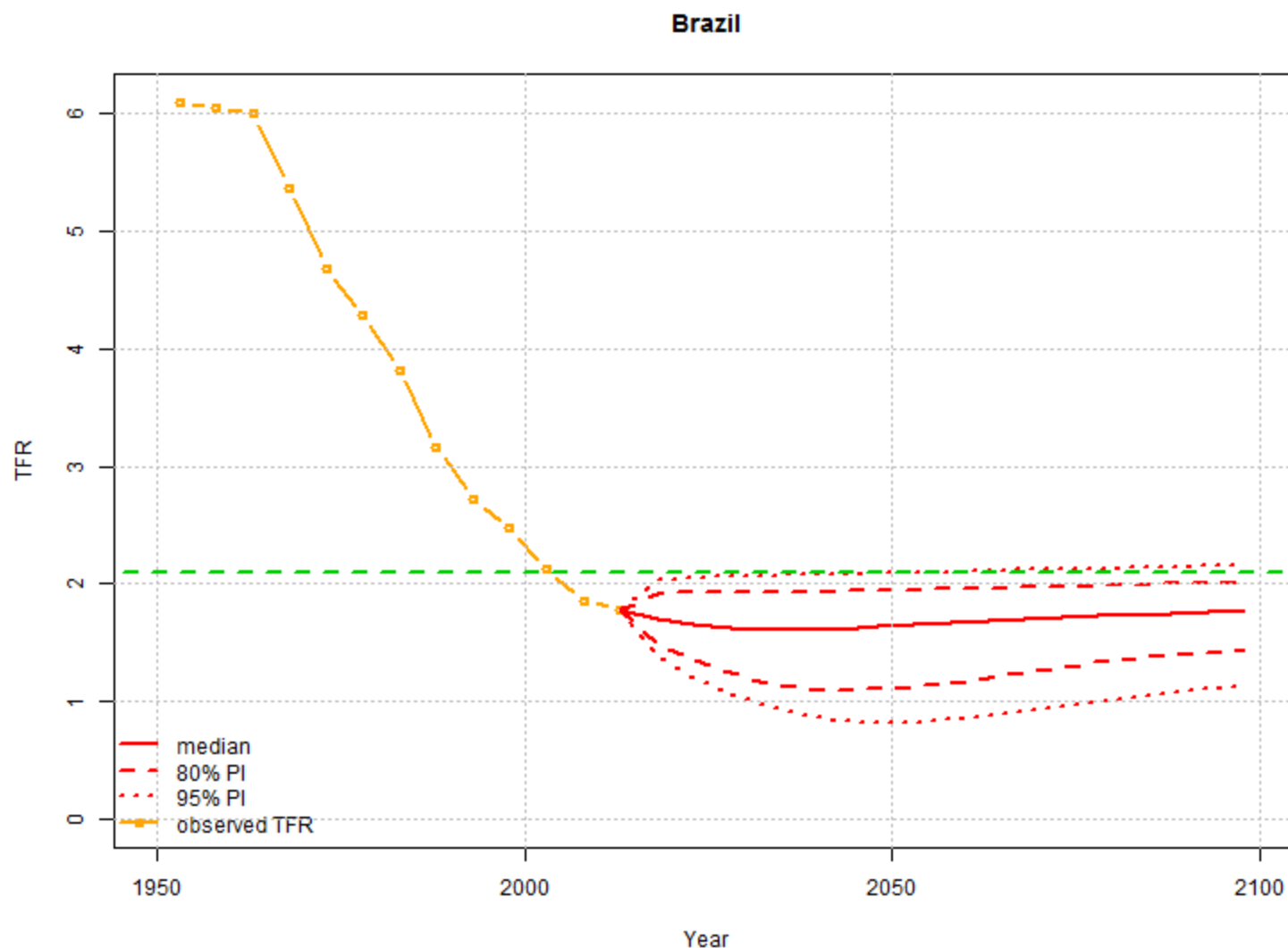
## TGF Brasil, WPP 2017

Función de decrementos; decrementos observados; decrementos esperados



# TGF Brasil, WPP 2017

Estimación 1950-2015; proyección media 2015-2100; e intervalos de credibilidad

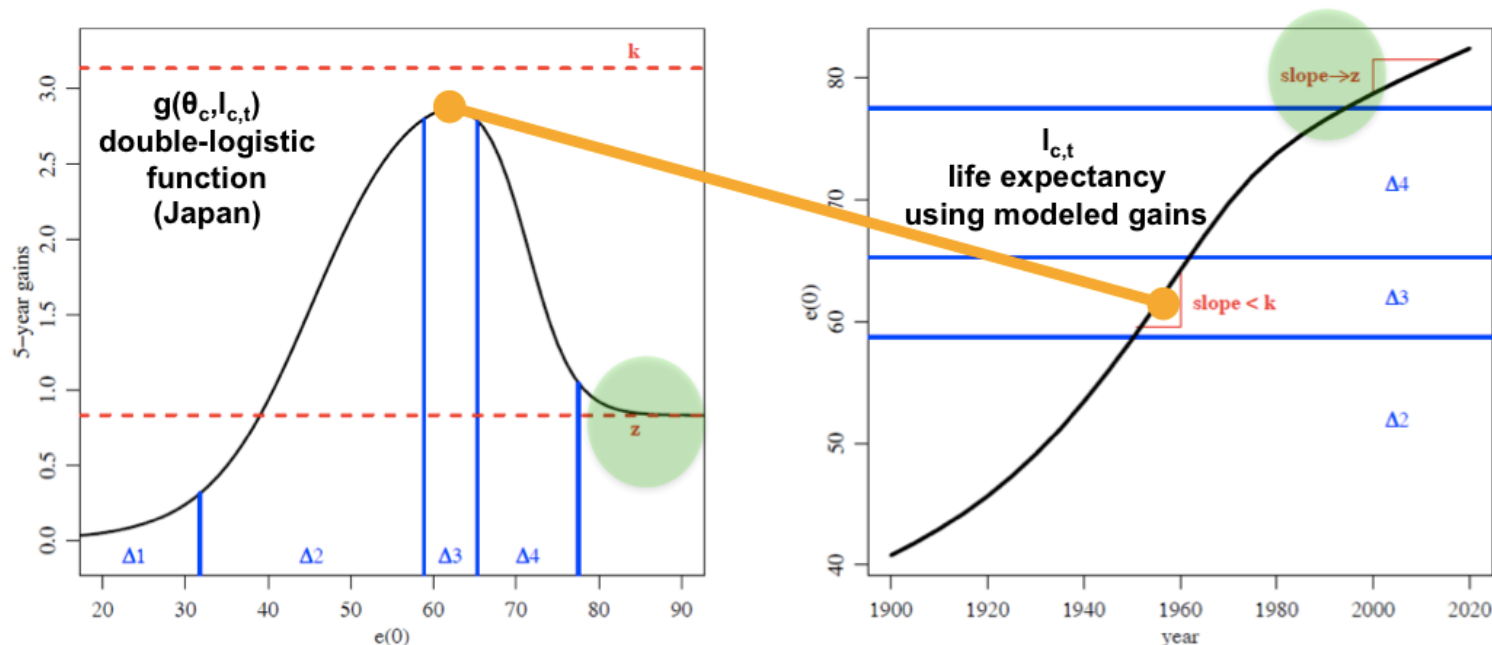


### III. Proyección del nivel de la mortalidad

- Modelo sobre el incremento de  $e_0$  femenina
- Modelo de la brecha entre sexos para determinar  $e_0$  masculina

# Proyección de la mortalidad:

## 1- Modelo probabilístico para $e_0$ femenina



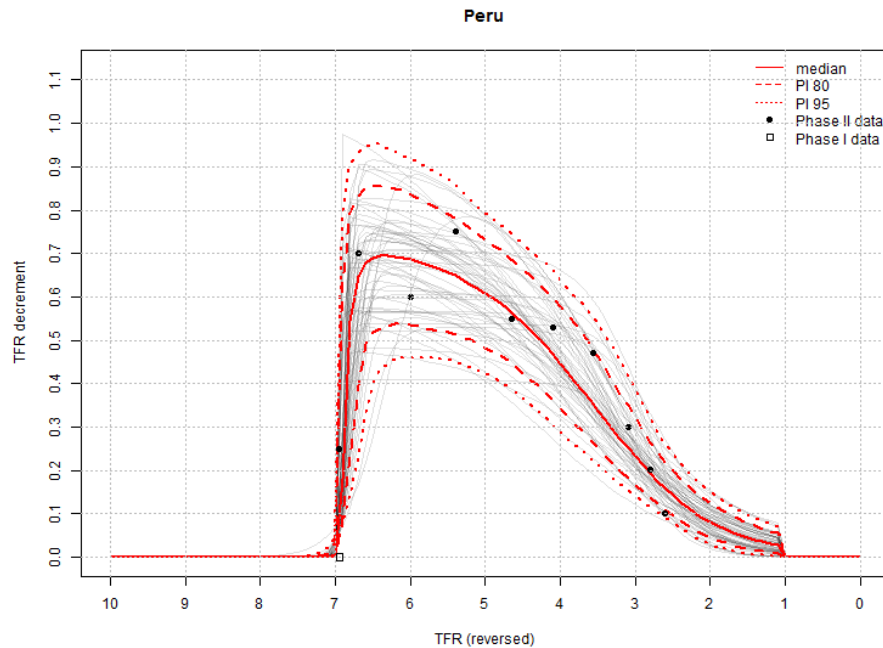
Paseo aleatoria con deriva bayesiana:

$$l(c, t+1) = l(c, t) + g(\theta_c, l(c, t)) + \varepsilon(c, t+1)$$

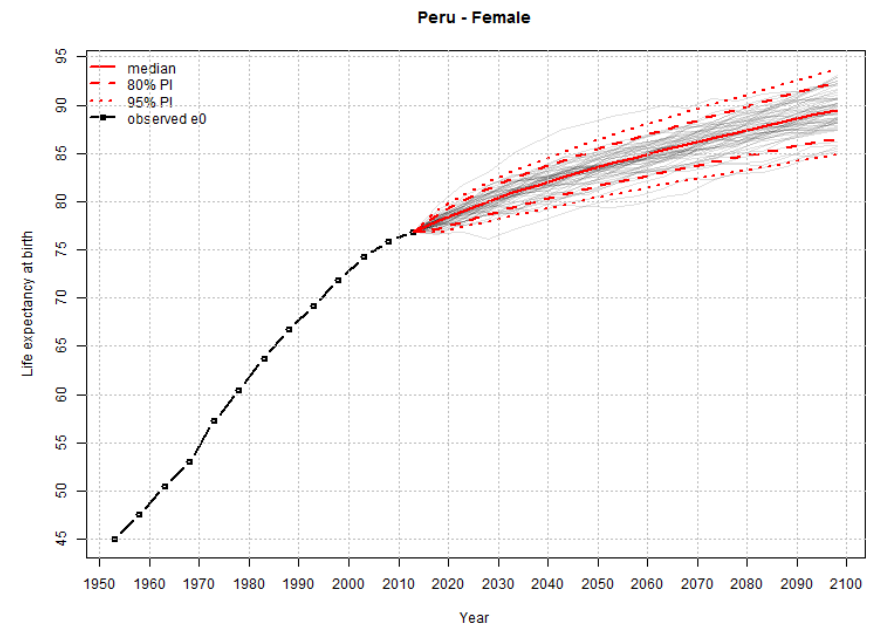
- Incrementos de  $e_0$  modelado usando una función logística doble
- Incluye un término de distorsión  $\varepsilon(c, t)$  que decrece con los incrementos de  $e_0$
- Los parámetros son estimados vía MCMC
- Produce parámetros de la función para cada país  $g(\theta_c, l(c, t))$
- El modelo usa información de las tasas de ganancia de otros países

# Ejemplo de la función de ganancias de e0 F

## Función de ganancias de e0 F



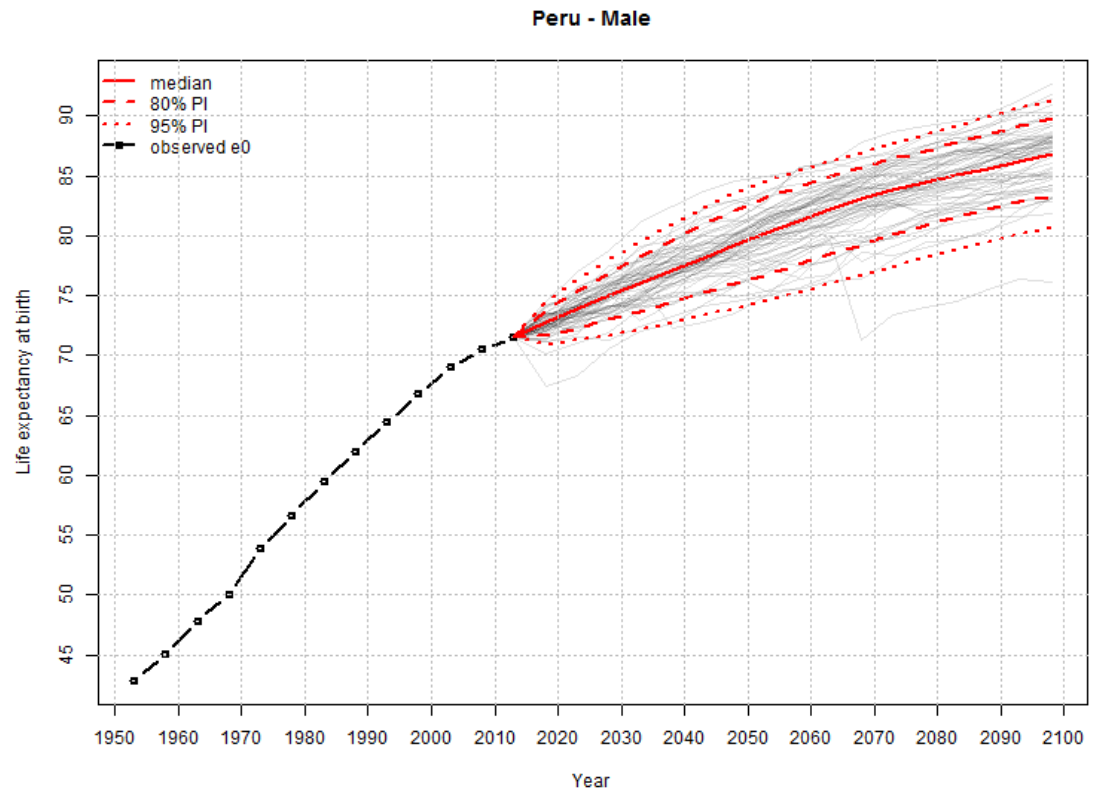
## Proyección de e0 F



# Proyección de la mortalidad:

## 2 Modelo para la brecha entre los sexos en $e_0$ y proyección de $e_{0M}$

La esperanza de vida masculina se deriva de la esperanza de vida proyectada para mujeres y el modelo de brecha entre los sexos

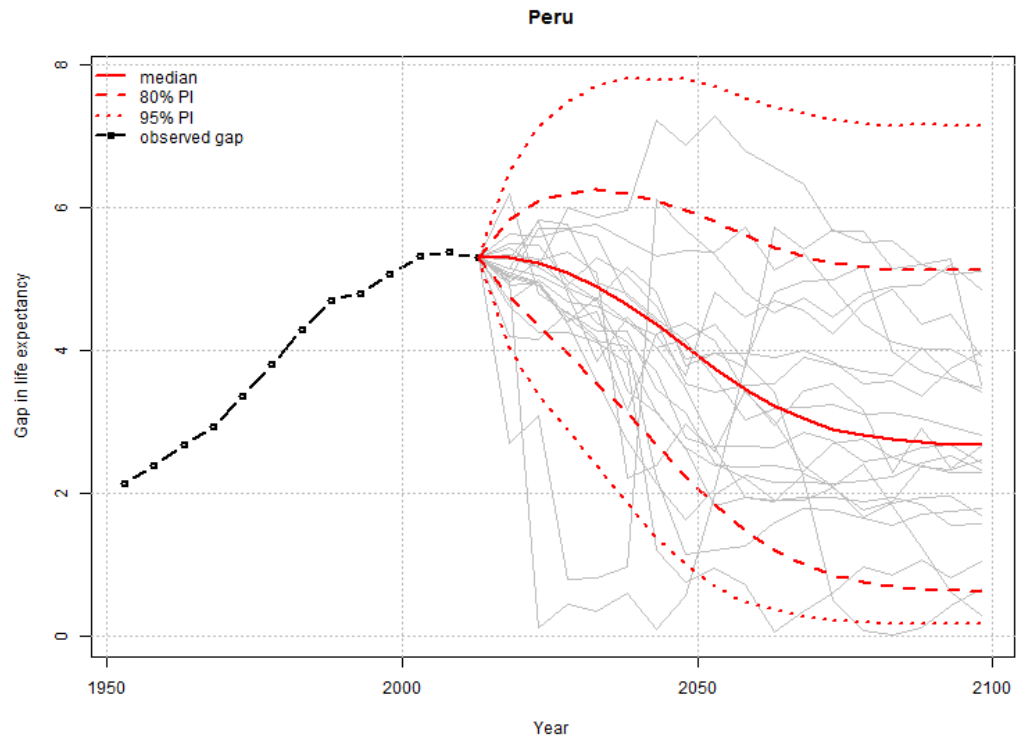


# Proyección de la mortalidad:

## 2 Modelo para la brecha entre los sexos en $e_0$ y proyección de $e_{0M}$

Modelo 1: autoregresivo con la  $e_0$  femenina como covariable  
→ (la brecha se ensancha hasta 75, y se angosta hasta 86)

Modelo 2: brecha constante con cambio distribuidos normalmente para  $e_0$  femenina mayor a 86 años





# III. Proyección probabilísticas de la población

- Incorporar los elementos probabilísticos en el métodos de los componentes demográficos
- Incluir proyección de la migración internacional



# Componentes de la proyección de la fecundidad

## Indicadores

- Tasa Global de Fecundidad (TG) >>
- Tasas específicas de fecundidad, proporciones (Pfx) >>

## Modelos

- Se modela el cambio >> mod. jerárquico bayesiano
- Convergencia hacia un patrón global de estructura por edad

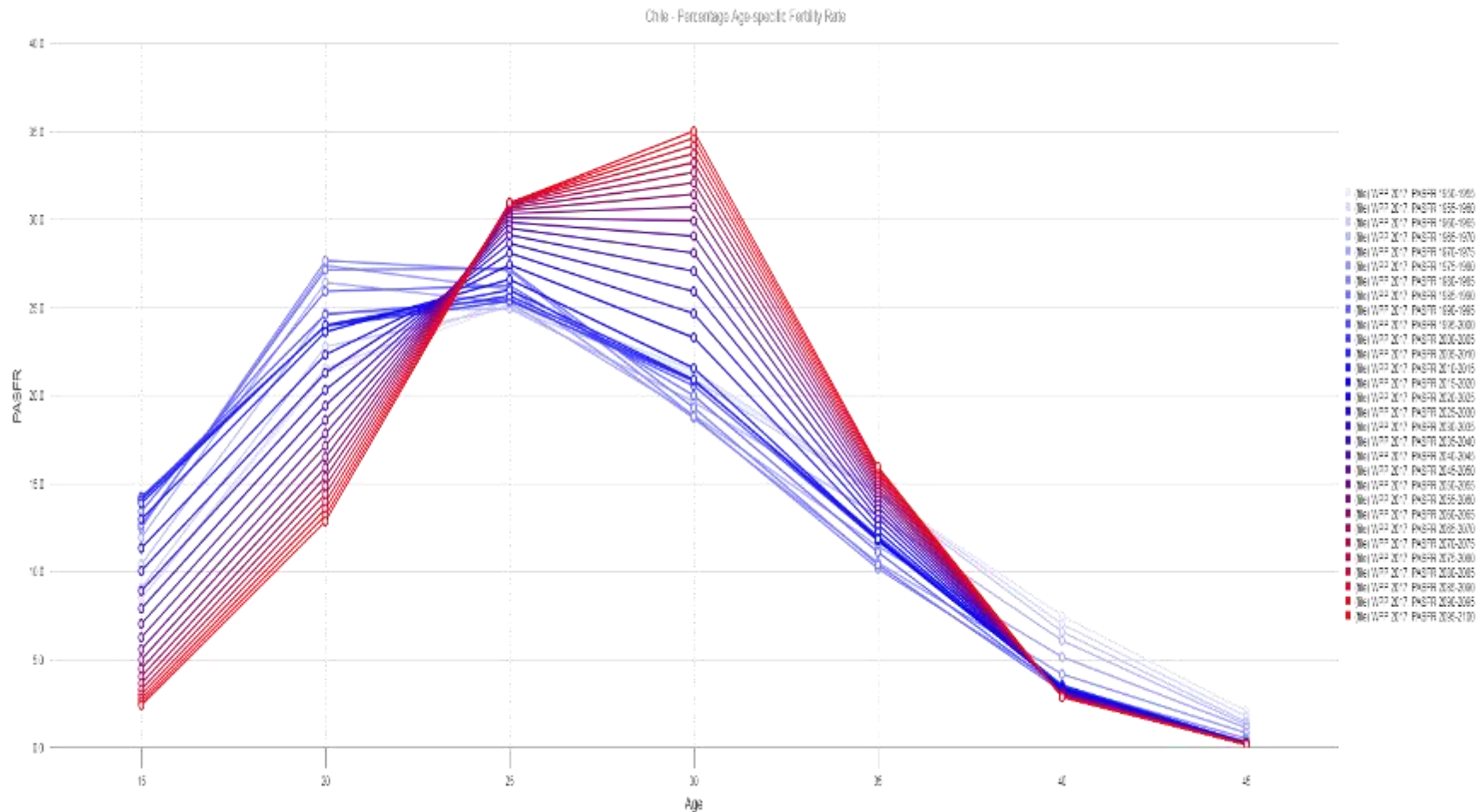
# Modelo para estructura de la fecundidad (proporciones, $P_{fx}$ )

- Dos proyecciones provisorias:
  1. Asume que las  $P_{fx}$  convergirán hacia una “norma” o patrón global
  2. Asume que las tendencias observada del país continúan indefinidamente en el futuro

- Proyección final

Media ponderada de las dos proyecciones preliminares. Se determina el inicio de la transición hacia el patrón mundial en base a cuándo el país entra en Fase III

# Modelo para estructura de la fecundidad (proporciones, Pfx)



# Componentes de la mortalidad

## Indicadores

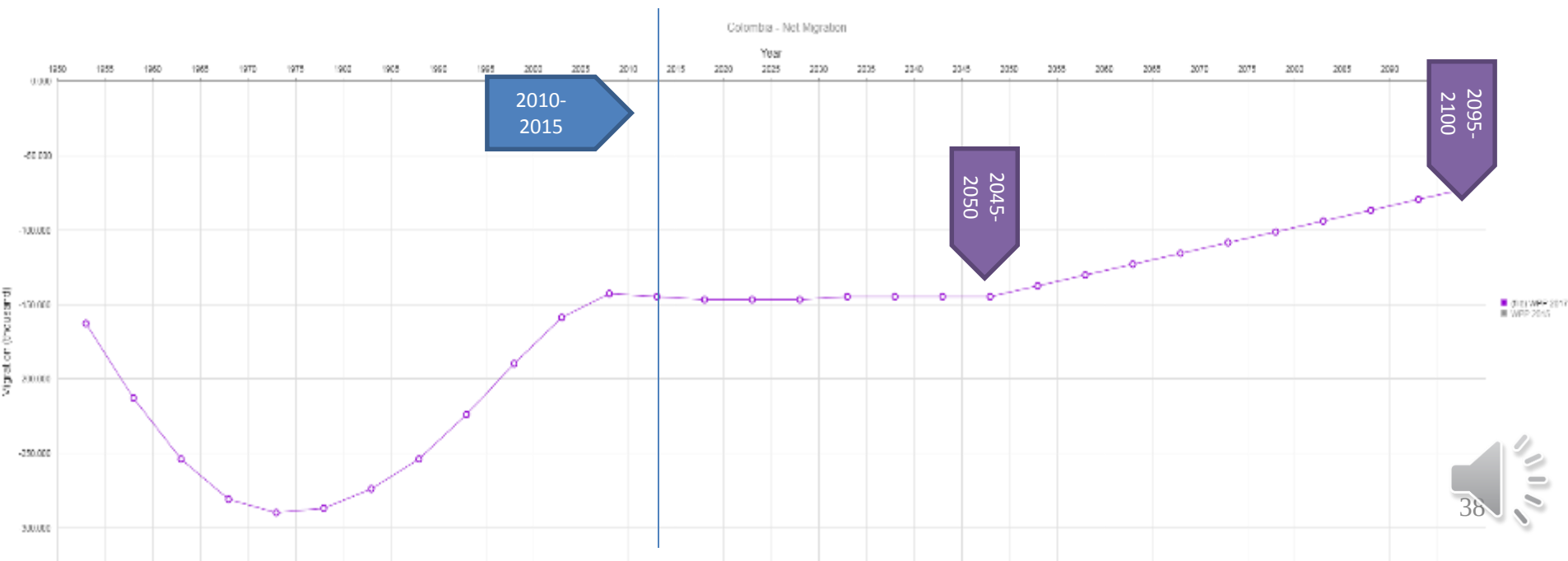
- Esperanza de vida al nacer femenina ( $e_0^f$ ) >>
- Brecha entre sexos de  $e_0$ 
  - >>  $e^{f-m}_0$
  - >>  $e^m_0$
- Tasas específicas de mortalidad ( $m_x$ ) >>

## Modelos

- Se modela el cambio >> m. jerárquico bayesiano
- Lee Carter modificado (en el marco probabilístico)

# Proyección de la migración internacional

- Indicador: stocks de migración neta por periodo quinquenal
- Proyección determinística. Hipótesis generales:
  - Continuación de la tendencia actual por 2 periodos (10 años)
  - Establecimiento de un nivel considerado esperable hasta 2045-2050
  - Cambio lineal a 2095-2100 = reducción del 50% del nivel en 2045-2050



# Generación de las proyecciones poblacionales

Método clásico de los componentes:

- **Población base**

Se aplica el método de los componentes a cada trayectoria de TG, e0 femenina e e0 masculina por país

- **Fecundidad:**  $P_{fx}$  aplicadas a TG  $\rightarrow$   $fx$   $\rightarrow$  nacimientos

- **Mortalidad:**  $m_x$   $\rightarrow$  muertes

- Stocks de **migración internacional** por país  $\leftarrow$

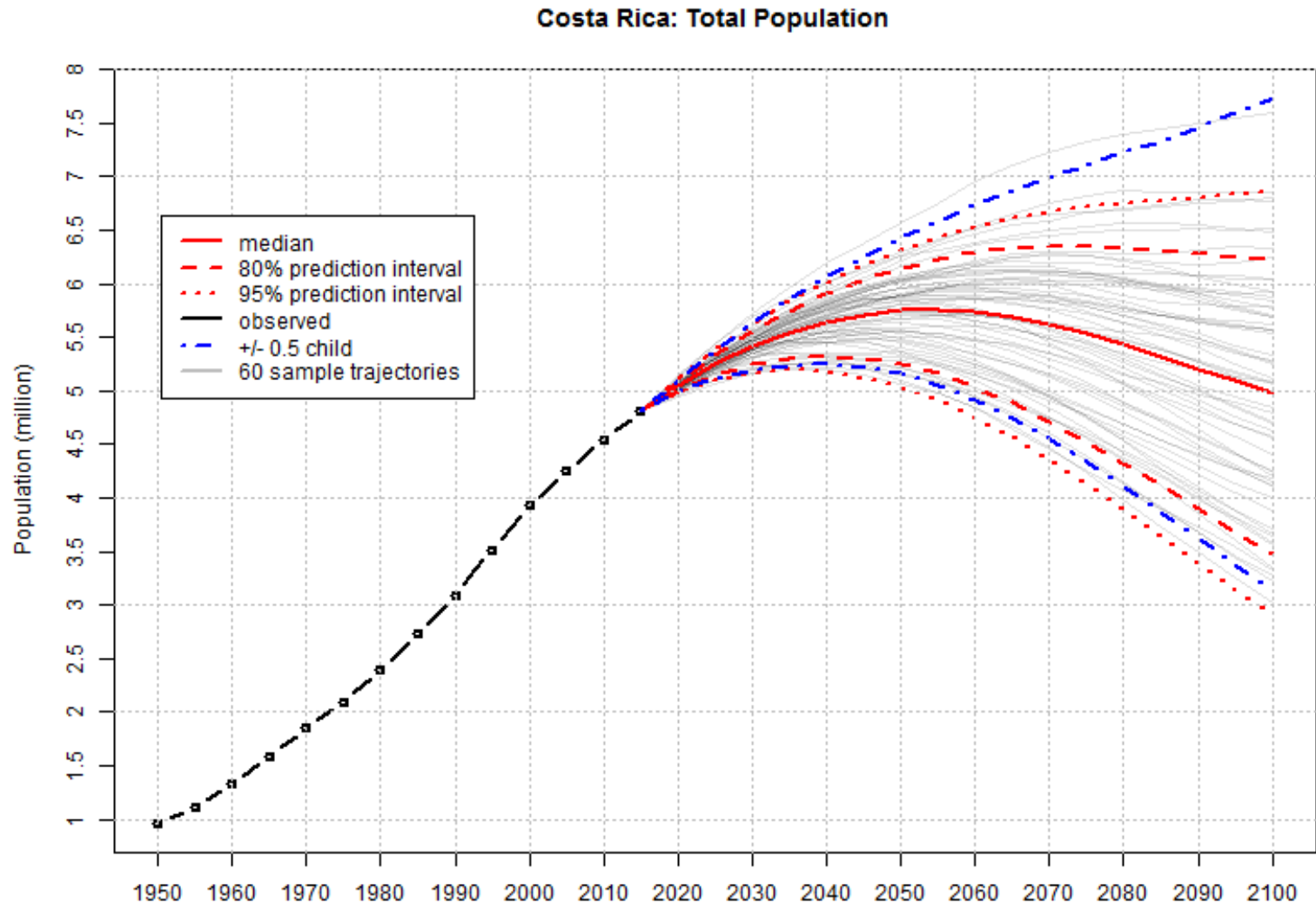
Este proceso es repetido para 10,000 muestras, de las que se extrae la mediana y los intervalos de credibilidad

Población al final de cada periodo quinquenal basada en la cohorte de población 5 años atrás y los factores demográficos intervinientes, nacimientos , muertes y migraciones por edad y sexo

Todos los computes son realizados usando los paquetes estadísticos de CRAN R, bayesPop.

<https://cran.r-project.org> [www.unpopulation.org](http://www.unpopulation.org)

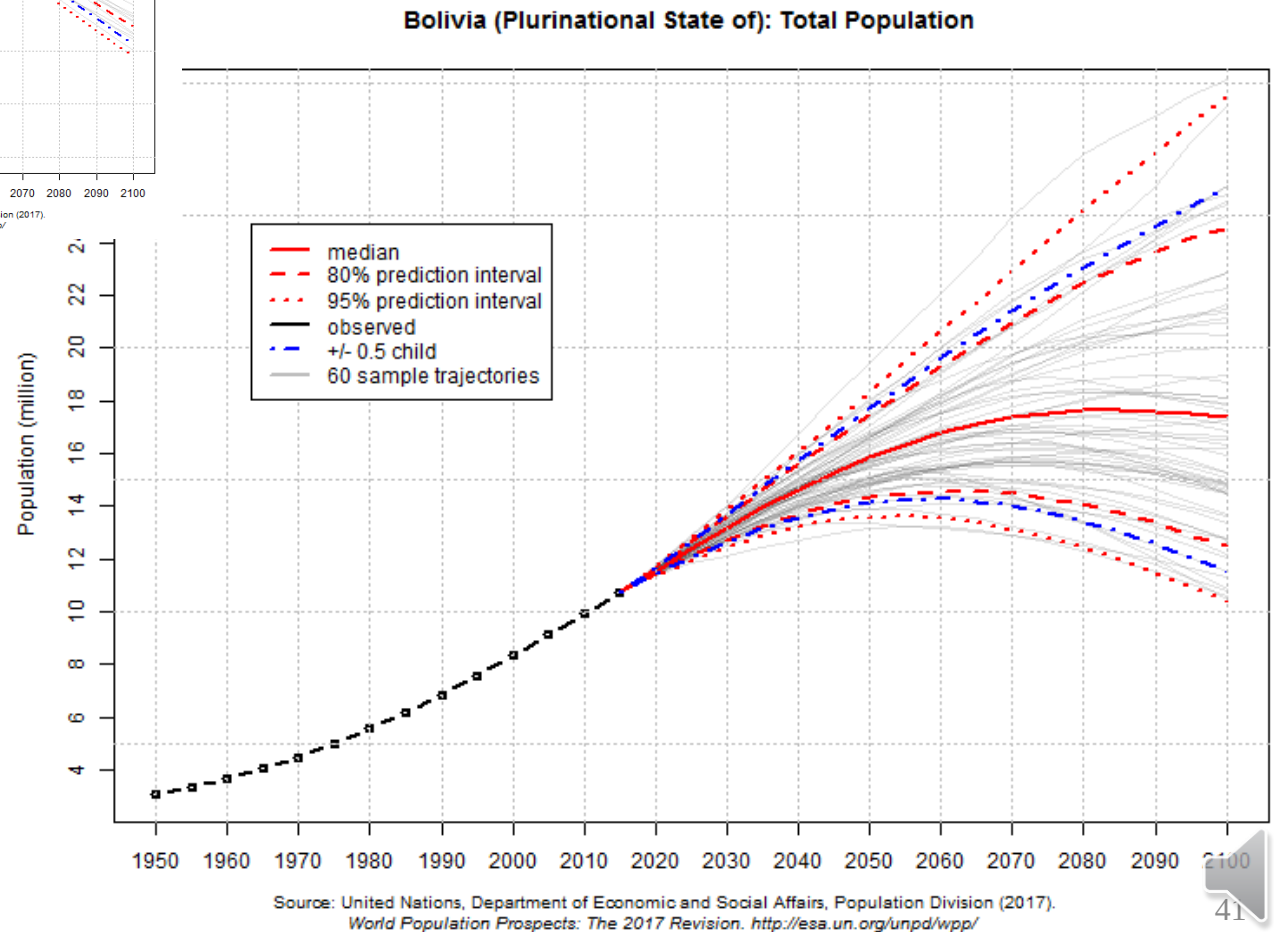
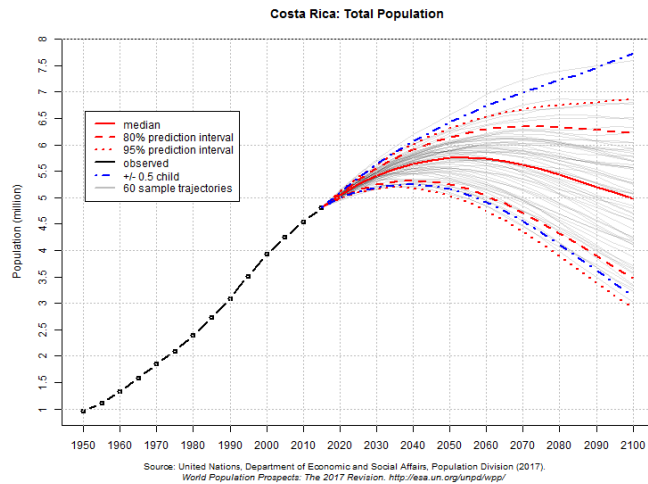
# Población: Ejemplo



Source: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2017).  
*World Population Prospects: The 2017 Revision*. <http://esa.un.org/unpd/wpp/>



# Población: Ejemplo



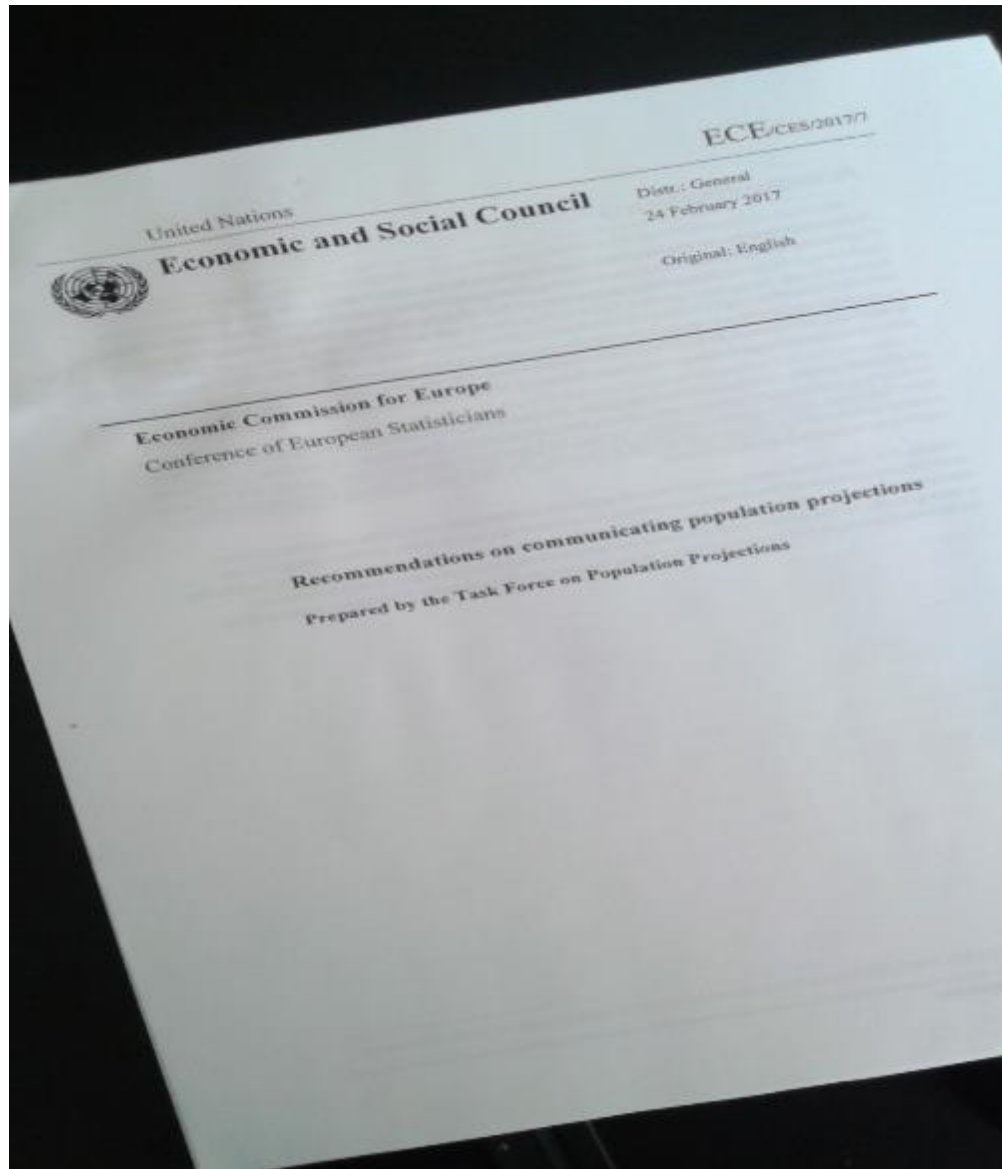
# Discusión, enfoque probabilístico en WPP

- ¿ Es útil desde para el usuario de WPP? “Los planificadores de políticas deberían considerar un rango múltiple de resultados”
- ¿Qué otras preguntas podrían responderse? (ej. <http://fpet.track20.org/fpet/>)
- Proyecciones a corto vs largo plazo
- Costo/beneficio (tiempo, cómputo)
- Producir + **Comunicar – ¿cómo comunicar de manera simple y clara?, ¿“educar” al usuario?**
- ¿Complementario de escenarios?
- Al cuantificar la incertidumbre del modelo BJ, ¿se ofrece una interpretación más válida de la incertidumbre en las proyecciones poblacionales, que el enfoque anterior de NU?

# Discusión, otras fuentes de incertidumbre

- Incertidumbre sobre la población base y los niveles actuales de fecundidad, mortalidad, migración
- Incertidumbre sobre las especificaciones del modelo (ej. El parámetro usado para determinar la asíntota en la función de ganancias de  $e_0$ )
- Incertidumbre sobre estructura de fecundidad y mortalidad
- Países con alta prevalencia de HIV, tendencia futura de la epidemia
- Incertidumbre sobre el índice de masculinidad al nacimiento
- Incertidumbre sobre las tendencias futuras de la migración

# Discusión





# World Population Prospects



Methodology of the United Nations  
Population Estimates and Projections

2017 REVISION

# World Population Prospects

## 2017 Revision

*Gracias!*

