

# Proyecciones y retroproyecciones probabilísticas de las tasas de fecundidad por edad (1895-2040)<sup>1</sup>

*Probabilistic projections of age-specific fertility rates (1895-2040)*

Nicolás Sacco<sup>2</sup>  
*Universidad de Buenos Aires*

Lucía Andreozzi<sup>3</sup>  
*Conicet; Universidad Nacional de Rosario*

*Revista Latinoamericana de Población*

Año 11  
Número 20

Primer semestre

Enero a junio de 2017

## *Resumen*

El objetivo del presente trabajo es modelar y pronosticar tasas de fecundidad por edad de la madre en Argentina para períodos sin datos, con base en estadísticas vitales (1980-2014), estimaciones previas disponibles para el lapso 1955-1980, censos y proyecciones de población. Para ello, a partir de modelos de series de tiempo funcionales se proyectaron y retroproyectaron las tasas de fecundidad por edad para los períodos 1895-1955 y 2015-2040 para todo el país. Los datos obtenidos

## *Abstract*

The goal of this article is to model and project fertility rates by age in Argentina, using vital statistics (1980-2014), population estimates, censuses, and previous estimates of fertility rates by age available for the 1955-1980 period. Using functional series models, we estimate fertility rates by age for the 1895-1950 and 2015-2040 periods, at the national level. The data obtained allowed the construction of probable past and future age-specific fertility scenarios and revealed a relative consistency with general

79

Proyecciones y retroproyecciones probabilísticas de las tasas de fecundidad por edad (1895-2040)

- 1 Una primera versión de este trabajo fue presentada en el VII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Población realizado del 17 al 22 de octubre de 2016 en Foz de Iguazú. Agradecemos los comentarios de Leandro González (CIECS, Conicet) y las lecturas de Edith A. Pantelides (CENEP), Julián Govea (UNICEF) y Mathías Nathan (Universidad de la República).
- 2 Es candidato a doctor en Ciencias Sociales por la Universidad de Buenos Aires (UBA). Es docente de la Cátedra de Demografía Social de la Facultad de Ciencias Sociales de la UBA. <nsacco@sociales.uba.ar>
- 3 Es becaria doctoral en Demografía del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Conicet) en la Universidad Nacional de Córdoba y magíster en Estadística Aplicada por la Universidad Nacional de Rosario (UNR). Es docente e Investigadora de la UNR. <andreozzi.lu@gmail.com>

permitieron construir probables escenarios pasados y futuros de la fecundidad por edad y se revelaron relativamente coherentes con la información y las tendencias sociodemográficas generales, lo que permitió reabrir preguntas acerca del proceso de transición de la fecundidad.

**Palabras clave:** Fecundidad por edad. Métodos probabilísticos. Estimaciones de población. Argentina.

sociodemographic information and trends, allowing us to reopen questions about the fertility transition process.

**Keywords:** Fertility by age. Probabilistic methods. Population estimates. Argentina.

*Recibido: 16 de noviembre de 2016*

*Aceptado: 30 de junio de 2017*

RELAP

Año 11  
Número 20

Primer  
semestre

Enero  
a junio  
de 2017

pp. 79-104

80

## Introducción

*Proyecciones  
y retropro-  
yecciones  
probabilísticas  
de las tasas  
de fecundidad  
por edad  
(1895-2040)*

Sacco /  
Andreozzi

A pesar de que diversos estudios han abordado la evolución de la fecundidad en Argentina tanto desde el punto de vista transversal como longitudinal (Recchini de Lattes y Lattes, 1975; Pantelides, 1983, 1989; Torrado, 1993; Pantelides, 2006; Govea Basch, 2013), buena parte de las preguntas sobre su proceso de transición continúa aún sin respuesta, en especial en lo que respecta a los cambios históricos en su estructura. Se desconoce todavía, por ejemplo, qué pasó en la fecundidad por edad a lo largo de extensos períodos de la historia, en los 33 años que separan los censos de 1914 y de 1947, fase en la cual, en algún momento, suele ubicarse el inicio del proceso transicional de la fecundidad (a nivel del total del país). Mucho han contribuido a esta laguna la escasez y fragmentariedad de los datos cuantitativos disponibles para la investigación histórica y las posibilidades de su explotación. La información que se conoce utilizó en general datos secundarios publicados y cuantitativos con aproximaciones predominantemente demográficas.

Para completar algunos de estos vacíos, en este artículo se estimaron tasas de fecundidad por edad de la madre para períodos sin información, mediante el uso de técnicas estadísticas. La construcción de resultados y un primer análisis tiene como objetivo complementar y reabordar, a partir del modelado de los datos, algunas de las incógnitas del proceso de cambio de la fecundidad en Argentina. Este tipo de enfoque tiene especial relevancia por la conocida característica de que, en contextos de transición demográfica, los cambios en la fecundidad tienen distinta preeminencia según el grupo de edad en el que ocurrieron. El hecho de que la fecundidad total sea un proceso acumulativo y que el pasado de las mujeres pueda afectar su futura fecundidad hace relevante contar con este tipo de información.

Los cálculos para estimar la estructura y los niveles de fecundidad dependen fuertemente de la disponibilidad de datos y del detalle de la información. Para los casos en los cuales las estadísticas vitales son completas, la fecundidad puede medirse directamente desde esa información. Desafortunadamente, la mayoría de los países de América Latina y el Caribe no poseen datos de registros vitales de confianza o simplemente carecen de ellos, sobre todo para el período anterior a 1950, por lo que distintas técnicas demográficas de estimación, basadas en datos censales o encuestas, han sido desarrolladas para medir indirectamente la fecundidad. Pero también en el campo de los estudios estadísticos mucho se ha avanzado en el desarrollo de técnicas de proyección y retroproyección.

La gran mayoría de las proyecciones de población conocidas ha sido determinística, derivada mediante el uso del método por componentes. Salvo el estudio de Andreozzi (2016) no se conocen otros antecedentes en la literatura doméstica de modelos estadísticos para describir la estructura de la fecundidad. Si bien se trata de un método aplicado por distintos organismos internacionales, en particular para proyecciones (Raftery *et al.*, 2009; Alkema *et al.*, 2011), generalmente se utiliza para estimar el nivel y no la estructura de la fecundidad. Además, aunque existe una amplia gama de proyecciones, se desconocen estudios, en el particular contexto argentino, que hayan examinado la predicción de la curva de la fecundidad para el pasado y el futuro de forma conjunta.

Por estas razones, en este artículo se aplicaron modelos de series de tiempo funcional a los datos disponibles (publicados y oficiales) de tasas específicas de fecundidad por edad de la madre en Argentina, para estimar estructura y niveles (transversales) de la fecundidad. Los objetivos específicos estuvieron centrados en: el modelado de las tasas de fecundidad por edad para: 1) el pasado (1925-1955 y 1925-1895) y 2) las predicciones (2015-2040). Para ello:

- en primer lugar, se observaron y modelaron las tendencias de las tasas de fecundidad por edad de la madre para el período 1925-1955 y para 2015-2040, mediante utilización de la información preexistente (1955-2014), corregida y suavizada, para lo que se empleó un modelo para datos funcionales de series de tiempo;
- en segundo lugar, a fin de obtener pronósticos de las tasas de fecundidad por edad para los períodos en los que la proyección no es informativa (previo a 1925), se elaboraron escenarios hipotéticos utilizando interpolaciones mediante la técnica de *splines* a partir de los resultados de la retroproyección previa y estimando la estructura de la fecundidad a partir de métodos demográficos indirectos.

El artículo se divide en cinco partes. En la próxima sección se describen los datos y el conocimiento sobre la transición de la fecundidad en Argentina, en particular en lo que remite a la información disponible para conocer su estructura y, luego, se consideran algunas de las aproximaciones metodológicas recientes para su estimación sobre la base de métodos probabilísticos. En Fuentes y Método se detallan conceptos básicos del modelo de series funcionales y se pormenorizan los datos utilizados y la construcción de la información. En Resultados se presenta un primer análisis descriptivo de los datos obtenidos, primero a partir de las proyecciones y luego según las retroproyecciones y se comparan los resultados obtenidos con la información antecedente. En Conclusiones se sitúa el análisis en la perspectiva histórica de la transición de la fecundidad en Argentina y se resumen

los principales resultados, abriendo líneas de posible profundización con base en los datos contruoidos.

## La dimensión conocida de la fecundidad en Argentina

Las investigaciones sobre las tendencias históricas de la fecundidad por edad en la Argentina han sido, como en la mayoría de los países de América Latina y el Caribe, seriamente dependientes de la disponibilidad de información detallada sobre nacimientos según edad de la madre y, por ende, restringidas. La fuente más común que recaba esta información, los registros de estadísticas vitales, presentó históricamente diversos tipos de limitaciones.

En los registros, la información de nacimientos por edad de la madre solo está disponible a partir del año 1954 y presenta criterios variables de definiciones y distintos niveles de calidad a lo largo de la serie (Pantelides, 1989: 9-10). Además, presenta otros tipos de problemas, de cobertura y calidad: la serie de nacimientos recién comienza en 1914 y los datos a partir de 1954 tienen obstáculos adicionales, como una alta proporción de nacimientos con edad de la madre desconocida (Pantelides, 1989; 2006: 72). Con anterioridad a 1914 los censos fueron prácticamente la única fuente de información para estimar medidas de fecundidad (Pantelides, 2006: 22), que, por las propias características de la fuente, responden a una mirada transversal de las tasas.

RELAP

Año 11  
Número 20

Primer  
semestre

Enero  
a junio  
de 2017

pp. 79-104

82

Proyecciones  
y retroproyecciones  
probabilísticas  
de las tasas  
de fecundidad  
por edad  
(1895-2040)

Sacco /  
Andreozzi

Cuadro 1

Resumen de las estimaciones de las tasas de fecundidad por edad, tasa global de fecundidad y tasa bruta de reproducción.  
Argentina, 1869-1947

Año	Autor de la estimación	Fuente	Métodos
1869	Rothman	Censo	Regresión: Bogue y Palmore
	Torrado	Censo	Población estable
1895	Rothman	Censo	Regresión: Bogue y Palmore
	Somoza	Censo	Mortara
	Arretx, Mellafe, Somoza	Censo	Hijos propios
1914	Torrado	Censo	Modelo de tablas de vida de Naciones Unidas
	Rothman	Censo	Regresión: Bogue y Palmore
1947	Rothman	?	?
	Camisa	Censo y estadísticas vitales	Fecundidad por edad estimada por Somoza, método desconocido
	Somoza	?	?
	Torrado	Censo y estadísticas vitales	?

Fuente: Pantelides (2006).

Nota: (?) los métodos no se conocen o no son claros.

Tabla 1

Tasas de fecundidad por edad, tasa global de fecundidad y tasa bruta de reproducción por grupos quinquenales de edad según año y autor de la estimación. Argentina 1869-1947

Edad	1869		1895		1914			1947			
	Rothman	Torrado	Rothman	Somoza	Arretx et. al.	Torrado	Rothman	Rothman	Camisa	Somoza <sup>a</sup>	Torrado
15-19				0,140	0,086				0,043	0,042	
20-24				0,270	0,249				0,132	0,129	
25-29				0,290	0,312				0,177	0,173	
30-34				0,260	0,287				0,135	0,132	
35-39				0,140	0,225				0,096	0,095	
40-45				0,090	0,155				0,039	0,039	
45-49				0,010	0,086				0,011	0,011	
TGF	(5,1)	(6,8) <sup>b</sup>	(5,5)	6,0	7,0	6,2	5,3	3,3	3,2	3,1	3,3
TBR	2,5	3,3	2,7	2,9	(3,4)	3,0	2,6	1,6	(1,6)	(1,5)	1,6

Fuente: Pantelides (2006) a partir de Arretx, Mellafe y Somoza, 1977; Camisa, 1965; Rothman, 1970, 1973; Somoza, 1967 y Torrado, 1970.

<sup>a</sup> Sin publicar, citado en Camisa, 1965.

<sup>b</sup> la TGF en negrita indica la elegida como más coherente por Pantelides.

( ) Indica que la medida en cuestión no la da el autor, sino que fue estimada por Pantelides, 2006, aplicando un índice de masculinidad al nacimiento de 1,05 varones por cada mujer.

Pantelides (2006: 26) sintetizó las fuentes, métodos y resultados que cada autor utilizó para estimar estructuras y tasas globales de fecundidad (TGF) con información censal, que se resumen en el cuadro 1 (métodos y autores) y la tabla 2 (resultados).<sup>4</sup>

## Métodos probabilísticos de pronóstico

Además de los antecedentes generales sobre los niveles y tendencias de la fecundidad, una amplia literatura ha sido desarrollada, sobre todo en los últimos años, en la que se proponen distintas aproximaciones metodológicas para su estimación. En ese sentido, para situar la metodología en su contexto, se repasan algunos de los trabajos paradigmáticos en el área.

La irrupción más clara y concisa de los métodos probabilísticos de pronóstico en el área demográfica la concretó el método propuesto por Lee y Carter (1992), que posee actualmente numerosas variantes y extensiones. Originalmente, los autores propusieron una metodología que permite modelar y extrapolar las tendencias observadas en las tasas de mortalidad a largo plazo e implementaron dicha metodología para pronosticar la mortalidad en los Estados Unidos hasta el año 2065. Lee y Miller (2001) y Booth *et al.* (2002) han propuesto modificaciones al método de Lee y Carter, como la elección del período de ajuste, el método para el ajuste del parámetro de nivel y la elección de las tasas base para el pronóstico. La propuesta de Lee y Miller (2001) es ampliamente utilizada y la variante de Booth *et al.* (2002) ha demostrado ser al menos tan precisa como la de Lee y Miller en

4 Para su descripción en detalle véase Pantelides (2006: 22-30).

el corto plazo.<sup>5</sup> Varios desarrollos han incorporado una estructura de error heterocedástica Poisson, como Brouhns *et al.* (2002) y Wilmoth (1993). Otros autores han extendido la aplicabilidad del modelo de Lee y Carter a los factores de reducción de la mortalidad<sup>6</sup> o examinado el uso de más de un término en el modelo, como en el caso de Booth *et al.* (2002) y Renshaw y Haberman (2003).

También existen dos extensiones recientes que incluyen suavizados semiparamétricos en el modelo: Jong y Tickle (2006) combinan un suavizado por *splines* y una estimación por medio del filtro de Kalman para ajustar una versión generalizada del modelo de Lee y Carter. Como síntesis, García Guerrero y Ordorica (2012) concluyen sobre la aplicación del modelo de Lee y Carter a datos de México:

Finalmente es importante resaltar la virtud del método presentado, al permitir tener intervalos de confianza de las estimaciones de la mortalidad. El enfoque estocástico reconoce que el comportamiento demográfico no sigue leyes determinadas, sino que la demografía, que al final de todo estudia conjuntos humanos, está sujeta a las leyes del azar. Además, el método permite realizar ajustes continuos a los pronósticos, pensando también en el número de muertes que se podrían evitar para alcanzar una meta en la esperanza de vida (García Guerrero y Ordorica Mellado, 2012: 445).

Además, Guerrero y González (2007) desarrollan un trabajo sobre la base de la aplicación del modelo a datos de México y evalúan el impacto de los resultados sobre el sistema previsional. También en Chile, Lee y Rofman (1994) aplicaron el modelo y en sus conclusiones sostienen que la síntesis de técnicas estadísticas de series de tiempo y modelos demográficos tiene múltiples ventajas y que el modelo de Lee y Carter constituye un modelo sencillo y útil para completar datos faltantes, donde, además, en algunos casos, permite emplearse para ajustar el subregistro y proyectar la mortalidad.

Hyndman y Ullah (2007) propusieron utilizar el paradigma de los datos funcionales para modelar los componentes demográficos, ya que este considera que los logaritmos de las tasas de cada año son una función continua de las edades. Hyndman y Ullah (2007) suavizan la mortalidad a través de regresiones *spline* penalizadas para luego ajustar un modelo mediante una descomposición en componentes principales. Estos métodos son comparados por Booth *et al.* (2006).

Los métodos probabilísticos para el pronóstico de la población están ganando reconocimiento rápidamente, ya que su principal ventaja radica en la llamada consistencia probabilística a través de todas las variables pronosticadas y sus índices derivados (Lee y Tuljapurkar, 1994). Esto propició el desarrollo de métodos probabilísticos de pronóstico, que, cada vez con mayor aceptación (Alho, 2000), son implementados por las agencias de estadísticas oficiales —como las de Holanda y Estados Unidos, por mencionar algunos ejemplos— para producir sus pronósticos nacionales. Otra propuesta ampliamente difundida e implementada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) es la de Raftery (2012) y consiste en calcular una proyección probabilística de la esperanza de vida mediante modelos jerárquicos bayesianos.

Los mayores avances vinculados al desarrollo de metodologías específicas se presentaron en la mortalidad. En cambio, la fecundidad y las migraciones han recibido menor atención por parte de los investigadores. En cuanto al pronóstico de la fecundidad, se destaca, en primer lugar, que los métodos elaborados para dicho componente están menos desarrollados que los destinados al análisis de la mortalidad. La fecundidad presenta

5 Para más detalles, véanse Booth *et al.* (2005) y Booth *et al.* (2006).

6 Véase Renshaw y Haberman (2003).

dificultades a la hora de ser pronosticada debido a los cambios estructurales en su comportamiento, altamente asociados a cambios en las pautas culturales. Lee (1993) encontró necesario preespecificar el valor medio a largo plazo de la fecundidad total e imponer valores límite para reducir la amplitud del intervalo de predicción e implementó un método paralelo al del Lee y Carter. Por otro lado, un enfoque de componentes principales fue empleado por Bozik y Bell (1987), quienes utilizaron en su análisis los primeros cuatro componentes principales y modelos ARIMA multivariados. Un método similar emplearon Hyndman y Ullah (2007) como parte de un análisis funcional, método que se utiliza en el presente artículo. Los autores emplean un mismo modelo base para analizar la mortalidad y la fecundidad.

La metodología propuesta por Hyndman y Ullah (2007) difiere en varios aspectos importantes del modelo de Lee y Carter: en primer lugar, está enmarcado en el paradigma de datos funcionales (Ramsay y Silverman, 2010). Por otro lado, emplea suavizados semiparamétricos con el fin de reducir la aleatoriedad inherente a los datos observados y, en la etapa de descomposición de las tasas suavizadas, permite utilizar componentes principales clásicos o robustos. Estos últimos tienen en cuenta, dentro del análisis, los posibles *outliers*. Con relación al modelado de *outliers*, Li y Chan (2005) proponen una versión robusta del modelo de Lee y Carter, pero esta no se ubica dentro del paradigma de los datos funcionales.

## Fuentes y método

Por lo visto previamente, el análisis de los datos funcionales ha alcanzado un gran desarrollo en los últimos años. Los modelos funcionales de series de tiempo engloban los datos en forma de curvas que se observan a intervalos regulares en el tiempo. Este modelo fue propuesto inicialmente por Hyndman y Ullah (2007) para modelar tasas de mortalidad y fecundidad empleando una transformación logarítmica en lugar de plantear la alternativa de Box-Cox. También ha sido utilizado por Erbas *et al.* (2007) para pronosticar tasas de mortalidad por cáncer de mama. Se trata de una generalización del conocido modelo de Lee y Carter (1992) para pronosticar tasas de mortalidad (D'Amato *et al.*, 2011).

Para construir la matriz de datos mediante este modelo se utilizaron estadísticas vitales y censos de población: series disponibles de nacimientos según edad de la madre y la población por edad simple y sexo. Para su aplicación fue necesario contar con las cantidades netas tanto de eventos como de población y por ello no fue la tasa en sí el dato base, sino que se construyó a partir de los registros de nacimientos y las cifras de población por edad.

Específicamente, para el período 1955-1980 se utilizaron los datos de nacimientos por edad de la madre estimados por Pantelides (1989). Con relación a la información para luego de ese período (1980-2014) se procesó la información proveniente del registro de hechos vitales, elaborados por la Dirección de Estadísticas e Información de Salud (DEIS).<sup>7</sup> Estos datos fueron ajustados de la siguiente manera: se distribuyeron proporcionalmente los nacimientos especificados sin edad de la madre y de menores de quince años y no se han

7 El Sistema Estadístico de Salud —dependiente de la DEIS del Ministerio de Salud de la Nación— produce estadísticas anuales correspondientes al total de registros de nacimientos, defunciones, defunciones fetales y matrimonios, con cobertura territorial nacional. Datos disponibles en <<http://deis.msar.gov.ar/>> (consultado el 6/7/2017).

realizado ajustes por subregistro de nacimientos o de inscripción tardía. Con relación a las cifras de población, se utilizó la población por edades simples publicada por la ONU (2015).

### Modelos para datos funcionales

Los datos interpolados y observados se modelaron mediante el modelo para datos funcionales para obtener pronósticos y retroproyecciones probabilísticas<sup>8</sup> del paquete de programación de Hyndman (2017).

Brevemente, se detalla el enfoque de datos funcionales en demografía (Hyndman y Ullah, 2007; Hyndman y Booth, 2008). Para ello se definen los datos necesarios para estimar la fecundidad, donde:

$B_t(x)$ : nacimientos en mujeres de edad  $x$  ocurridos durante el año calendario  $t$ ,

$E_t^M(x)$ : población de mujeres de edad  $x$  expuesta al riesgo al 30 de junio del año  $t$ ,

Donde  $x = 15, \dots, 49$  y  $t = 1, 2, \dots, n$ . La tasa de fecundidad de la edad  $x$  en el año calendario  $t$  se define como:

$$f_t(x) = \frac{B_t(x)}{E_t^M(x)} \quad (1)$$

Se denota con  $y_t^*$  a la cantidad a ser modelada (en este caso, la fecundidad, pero puede ser la mortalidad o el saldo migratorio) para la edad de la madre  $x$  en el año  $t$ . Primero se plantea una transformación de Box-Cox de  $y_t^*$  y luego se supone el siguiente modelo para la cantidad transformada  $y_t(x)$ :

$$y_t(x) = s_t(x) + \sigma_t(x) \varepsilon_{t,x} \quad (2)$$

$$s_t(x) = \mu(x) + \sum_{k=1}^K \beta_{t,k} \phi_k(x) + e_t(x). \quad (3)$$

Donde  $s_t(x)$  es una función suave subyacente de  $x$ ,  $\varepsilon_{t,x}$  son variables aleatorias gaussianas, independientes e idénticamente distribuidas y  $\sigma_t(x)$  es la varianza que puede variar con la edad y con el tiempo. Es posible implementar el enfoque para años y edades simples así como también para grupos quinquenales. Esto significa que  $s_t(x)$  es una función suave de la edad que se observa con error. La ecuación (3) describe la dinámica de  $s_t(x)$  a través del tiempo. En esta ecuación,  $\mu(x)$  es la media de  $s_t(x)$  a través de los años,  $\{\phi_k(x)\}$  es un conjunto de funciones base ortogonales calculadas utilizando una descomposición en componentes principales,  $e_t(x)$  es el error del modelo, el cual se supone no correlacionado serialmente. La dinámica del proceso está controlada por los coeficientes  $\{\beta_{t,k}\}$ , los cuales tienen un comportamiento independiente uno de otro (por propiedades del método de componentes principales).

En este enfoque,  $y_t^*$  representa a la tasa de fecundidad y el parámetro de la transformación de Box y Cox se fija  $\lambda = 0$ , por ello  $y_t(x)$  es el logaritmo de la fecundidad para el año  $t$  y la edad  $x$ . En el modelo de Lee-Carter, desarrollado para el modelado de la mortalidad, no se realiza ningún tipo de suavizado, por ello  $\sigma_t(x) = 0$ ,  $y_t(x) = s_t(x) + a\mu(x)$  se la estima como el promedio de  $y_t(x)$  a través de los años. Para  $K = 1$ ,  $\beta_{t,1}$  se obtiene a partir de la primera componente principal de la matriz  $[y_t(x) - \hat{\mu}(x), ]$ . Los pronósticos se obtienen ajustando un modelo de serie de tiempo a  $\beta_{t,1}$ ; en la práctica el modelo que se obtiene resulta generalmente un paseo aleatorio con pendiente, en esta etapa la selección se realiza automáticamente, empleando el modelo que genera el menor valor del criterio de Akaike.

8 Para detalles teóricos sobre el cálculo de pronósticos funcionales y su variancia de pronóstico, véase Blaconá y Andreozzi (2014).

RELAP

Año 11  
Número 20

Primer  
semestre

Enero  
a junio  
de 2017

pp. 79-104

86

Proyecciones  
y retroproyecciones  
probabilísticas  
de las tasas  
de fecundidad  
por edad  
(1895-2040)

Sacco /  
Andreozzi



Es importante tener en cuenta que para interpolar las tasas para los años para los cuales no se cuenta con información, se empleó la metodología utilizada por Yasmeen y Mahmood (2014), quienes la usan para «completar» la serie que da origen a los datos funcionales, insumo básico del modelo,<sup>9</sup> que permite interpolar puntos faltantes en la serie de datos mediante *spline* cúbico. De este modo se cuenta con datos equiespaciados, tal como lo requiere la metodología aquí propuesta.

El método de datos funcionales permite establecer, mediante la inclusión de condiciones matemáticas, distintas hipótesis para el modelado. En este artículo se incluyeron dos tendencias posibles de la fecundidad: una hipótesis que asume un nivel estable a lo largo del tiempo y otra que permite una progresión o crecimiento siguiendo la tendencia general observada. Si bien el método se basa estrictamente en los datos observados, no se trata de un método blando a la hora de incluir hipótesis teóricas más puntuales, como por ejemplo fijar un *set* de tasas para un año o años a futuro. Sin embargo, la flexibilidad que posee la metodología permitirá desarrollar estas características en trabajos a futuro.

### Ventajas de la propuesta

La adopción de un modelo que proyecte y retroproyecte estocásticamente tasas de fecundidad por edad resulta una estrategia metodológica con ventajas significativas, ya que la población argentina durante el período de transición de la fecundidad no fue una población cerrada sino abierta: las masivas oleadas migratorias produjeron significativos cambios no solo en el crecimiento de la población y su distribución espacial, sino también en la composición por grupos de edad y sexo, variables que inciden directa e indirectamente en el cálculo de las tasas.

Los tres primeros censos de población (1869, 1895 y 1914) no permitieron el cálculo directo de tasas de fecundidad por edad transversales (salvo el de 1895, pero a partir de técnicas indirectas): Pantelides (2006: 72) menciona que las poblaciones de la mayoría de las jurisdicciones de Argentina son demasiado abiertas como para aplicar métodos indirectos como el de Mortara (1949) y que las preguntas de fecundidad en estos censos solo se realizaron para mujeres alguna vez casadas.<sup>10</sup>

En este sentido, la perspectiva metodológica adoptada a partir de la estadística puede salvaguardar algunos de los problemas que puedan llegar a encontrarse utilizando otras técnicas más bien demográficas basadas en censos de población —con un largo período en el cual no se llevaron a cabo (1914 a 1947)—, donde sus estimaciones podrían no estar controladas por la edad de la población, quienes poseen un efecto enorme sobre el nivel y la estructura de la fecundidad, o bien los métodos que emplean información retrospectiva de la fecundidad (a partir de la variable total de hijos nacidos vivos), que, más allá de sus propias limitaciones (afectada especialmente por mortalidad y migraciones), no ofrece información sobre estructura.

Se ha dejado para estudios ulteriores contrastar la metodología aquí empleada con el tradicional modelo de Lee y Carter u otros, ya que si bien resultaría de interés para los

9 Aplicada mediante una función de R disponible en el paquete *stats*.

10 Hoy en día, gracias a la actual disponibilidad de las muestras de los censos de 1869 y 1895 (Quartulli, 2014), sería posible aplicar el método de hijos propios procesando adecuadamente la información por hogar, lo que daría la posibilidad de contar con estimaciones de período de la estructura y el nivel de la fecundidad.

objetivos planteados, el eje central del artículo es proponer la aplicación de una metodología para obtener resultados demográficos.

## Resultados

### Proyecciones

En primer lugar, se obtuvieron pronósticos de las tasas por edad simple para el período 2015-2040.<sup>11</sup> En este punto se incluyeron dos supuestos: una primera hipótesis que sostiene que la fecundidad continuará descendiendo y una segunda hipótesis que plantea que ya ha alcanzado su máximo descenso, de modo que se seleccionaron dos modelos, uno con pendiente y otro sin pendiente, en correspondencia con los supuestos planteados en la sección previa. A partir de la combinación entre los coeficientes pronosticados y las bases estimadas por el modelo, se generan los pronósticos de las curvas de fecundidad. Tanto los pronósticos como las retroproyecciones se acompañan de un intervalo probabilístico, y en este punto radica otra de las ventajas del método, ya que estos sirven para evaluar la precisión de los resultados obtenidos (ver tablas 6 a 9 en el anexo).

En el gráfico 1 se presentan los pronósticos obtenidos para el los años 2015 a 2040. El panel de la izquierda presenta las tasas pronosticadas basadas en el supuesto de fecundidad estable, mientras que el panel de la derecha muestra la hipótesis que admite pendiente, traducida en descenso de acuerdo a lo observado en la información histórica de las tasas.

En los gráficos aparecen con caracteres nítidos los niveles y perfiles de las tasas, diferenciales entre sí. El primero, sin pendiente, ostenta una cúspide tardía (tasas máximas a los 25 a 29 años) y alta concentración, alrededor del 70% de la fecundidad total en el tramo de edad 20-34 años, en todo el período 2015-2040, con valores muy similares entre sí en cada edad y con tendencias prácticamente estables en cada grupo. En cambio, el panel con pendiente, por su parte, muestra también una cúspide tardía, con mayor concentración en las edades de 25 a 29, pero, a diferencia de las tasas sin pendiente, la centralización en este tramo de edad es levemente descendente y para 2030 concentra un poco menos del 70% de la fecundidad total.

Las cúspides revelan niveles diferenciales y menores por edad a medida que transcurre el tiempo. Estas estructuras representan gradientes diferenciales de escenarios de regulación de la fecundidad y es presumible, de acuerdo a la experiencia de los países que ya atravesaron procesos postransicionales (Lesthaeghe y Willems, 1999), que, una vez estabilizada la fecundidad alrededor del nivel de reemplazo poblacional, los cambios se definirán más en el calendario que en el nivel.

Las tasas son bien diferenciales por edad a medida que transcurre el tiempo, decrecientes en cada grupo de edad a la vez, aunque aumentan y ganan peso realtivo (muy leve) las edades de quince a diecinueve años. Este hecho da cuenta de cómo pronostica el modelo, es decir, con base en la información histórica. En Argentina, así como en el resto de América Latina y el Caribe, es conocido el hecho de que el ritmo de descenso de la fecundidad adolescente no acompañó la caída general de la fecundidad (Rodríguez Vignoli,

11 Se obtuvieron las estimaciones para todos los años calendario del período de estudio y los cálculos se realizaron por edades simples, pero por razones de espacio se seleccionan años terminados en 5 en 0 y se presentan todas las medidas en grupos quinquenales de edad.

RELAP

Año 11  
Número 20

Primer  
semestre

Enero  
a junio  
de 2017

Pp. 79-104

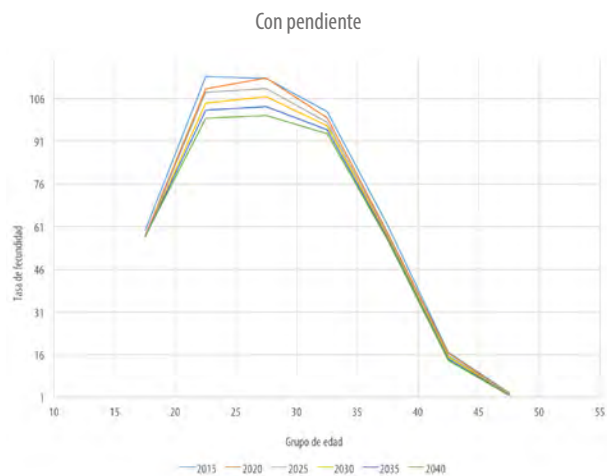
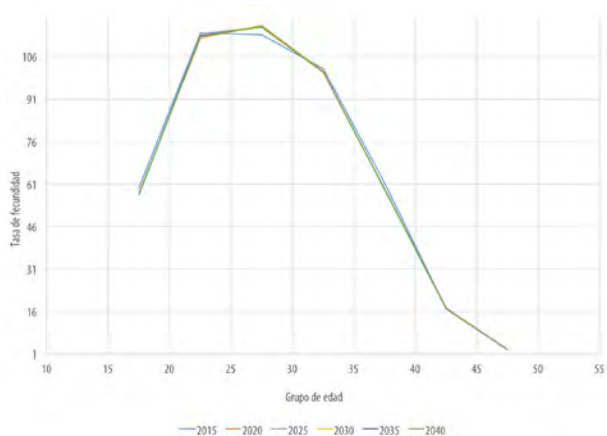
88

*Proyecciones  
y retropro-  
yecciones  
probabilísticas  
de las tasas  
de fecundidad  
por edad  
(1895-2040)*

Sacco /  
Andreozzi

2014), por lo que es esperable, dados los supuestos del método, que los resultados a corto y mediano plazo presenten tasas aún relativamente altas e inclusive levemente superiores a su promedio en el lapso de la proyección.

Gráfico 1  
Tasas de fecundidad por grupos quinquenales de edad según año. Pronósticos sin y con pendiente. Argentina, 2015-2040



Fuente: tablas 1 y 2.

Es que, en efecto, durante el período de estudio, los bajos niveles de fecundidad coexisten con altos niveles de fecundidad adolescente, salvo reducciones mayores en los últimos años. Esto es un hecho característico en la región, del cual la Argentina no está apartada y podría llegar a tener consecuencias sobre la evolución pronosticada a futuro de la TGF. Dados los niveles de las tasas de fecundidad adolescente, estos grupos de edad tienen más margen para su reducción y esto impactaría en el nivel general de la TGF. De cualquier manera, no es obvio que la fecundidad adolescente retome tendencias descendentes (Cabella y Pardo, 2014:21; Rodríguez Vignoli, 2014), ya que si bien es esperable que la fecundidad continúe descendiendo hasta un nivel cercano a dos hijos por mujer, las

heterogeneidades concernientes al calendario eventualmente se mantendrán en el lapso de la proyección.

La TGF es más alta y estable, alrededor de 2,35 a 2,33 hijos por mujer, en la proyección bajo hipótesis sin pendiente (eje izquierdo del gráfico 2). La TGF presenta valores más bajos en el pronóstico con pendiente (lo que es esperable dado el supuesto de fecundidad decreciente) pasando de 2,34 en 2015 a 2,11 en 2040. Nótese que los valores de los índices resumen resultados de la proyección aquí propuesta son en ambos casos superiores a los estimados por las últimas proyecciones del Instituto Nacional de Estadística y Censos (Indec, 2013) (eje derecho del gráfico 2), donde los niveles de reemplazo se alcanzan en el 2025.

Una de las ventajas de los métodos probabilísticos para proyecciones es que permiten calcular intervalos de confianza. Para las proyecciones realizadas, los intervalos de pronóstico para las tasas de fecundidad por grupos de edad, bajo el supuesto de fecundidad estable (tabla 5 del anexo), para el año límite inferior de la proyección (2015), resultan informativos para todos los grupos de edad (poca amplitud), a excepción del grupo de 20 a 29 años, que presenta diferencias levemente superiores a 10 entre las tasas límite. Para el año límite superior (2040), como es esperable, la amplitud de los intervalos es mayor en todos los grupos edad, siendo, de nuevo, el grupo de 20 a 29 años (edades donde se concentra la mayor parte de la fecundidad), donde se observa mayor amplitud.

Los intervalos de pronóstico bajo el supuesto de fecundidad con pendiente (tabla 6 del anexo), son, en cambio, informativos en todos los grupos de edad (diferencias menores a 10) en el año límite inferior de la proyección (2015). Para 2040, al igual que bajo la hipótesis sin pendiente, la amplitud de los intervalos es mayor en todos los grupos edad, siendo informativo en el grupo de 40 a 49 años.

RELAP

Año 11  
Número 20

Primer  
semestre

Enero  
a junio  
de 2017

pp. 79-104

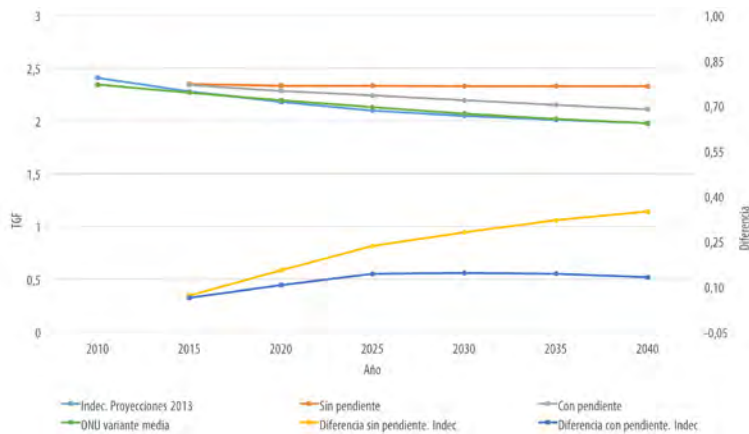
90

Proyecciones  
y retroproyecciones  
probabilísticas  
de las tasas  
de fecundidad  
por edad  
(1895-2040)

Sacco /  
Andreozzi

Gráfico 2

Tasa global de fecundidad (eje izquierdo) por pronósticos sin y con pendiente y proyecciones Indec y diferencias absolutas de las estimaciones (eje derecho) según año. Argentina 2010-2040



Fuente: elaboración propia a partir de las tablas 1 y 2 del anexo e Indec (2013)

## Retroproyecciones

En segundo lugar, empleando la misma metodología y planteando también dos hipótesis, se realizaron las retroproyecciones hasta el año 1925 (año límite «informativo» que permite el modelo). En el panel de la izquierda del gráfico 3 se presentan las tasas obtenidas a partir del supuesto de que la fecundidad observada en 1925 es estable hacia años anteriores, mientras que el panel de la derecha presenta las tasas basadas en el supuesto que admite pendiente (lo que se traduce en un ascenso hacia los años previos si se estima la pendiente). Resulta importante destacar que la reversibilidad de las series se sustenta en el supuesto gaussiano (véase Tong, 1990) y de este modo es posible revertir las series bajo estudio y realizar las retroproyecciones.

La estructura de la fecundidad por edad resultado de este ejercicio muestra valores máximos en el grupo de mujeres de 25 a 29 años configurando también una cúspide tardía. Con valores cercanos sigue en importancia el grupo de 20 a 24 años. En el panel de la izquierda (sin pendiente) se observa que los valores de la tasa de fecundidad se acercan entre sí, sobre todo por el aumento de la importancia del grupo más joven. Las estimaciones con pendiente (panel de la derecha) ostentan una clara caída a lo largo del periodo en cada uno de los grupos de edad, pero manteniendo una estructura similar.

Para las retroproyecciones realizadas, los intervalos de pronóstico para las tasas de fecundidad por grupos de edad, bajo el supuesto de fecundidad estable (tabla 7 del anexo), para el año límite inferior de la retroproyección (1925), resultan informativos para todos los grupos de edad (poca amplitud), a excepción del grupo de 20 a 34 años, que presenta diferencias superiores a 10 entre las tasas límite estimadas. En el año límite superior (1950), son amplios los intervalos en todos los grupos edad, siendo mayores en el grupo de 20 a 29 años. En los intervalos de pronóstico bajo el supuesto de fecundidad con pendiente de las retroproyecciones (tabla 8 del anexo) se observan un patrón y unas distancias similares a lo observado bajo el supuesto de fecundidad estable.

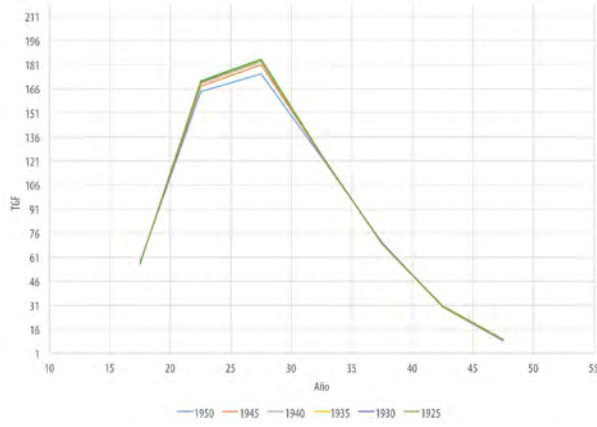
Ciertamente, la elección entre supuestos se puede establecer mediante medidas de bondad de ajuste establecidas para modelos estocásticos o mediante la selección basada en el conocimiento histórico, social y demográfico. En este caso, y de la última forma mencionada, se considera que los resultados más factibles y coherentes son las proyecciones que admiten pendiente, es decir, las tasas estimadas que presentan un ascenso hacia años previos y un descenso hacia el futuro.

La TGF de estas retroproyecciones (gráfico 4) son decrecientes bajo ambas hipótesis (con y sin pendiente), aunque de valores más altos bajo el supuesto de fecundidad constante, donde pasan de un valor de 3,59 hijos por mujer en 1925 a 3,17 en 1950. La TGF también desciende en el escenario con pendiente, pero con niveles por debajo de las estimaciones sin pendiente: oscila entre una TGF de 3,23 en 1925 a una de 3,15 en 1950. Si se comparan estos índices resumen con los compilados por Pantelides (1989) se observa cierta estabilidad de las tasas globales a lo largo del largo ciclo de 1925 a 1950, alrededor de tres hijos por mujer. También distingue el vacío en las estimaciones entre 1914 y el punto final de la estimación aquí propuesta.

Por esta razón, y dado que la metodología de retroproyecciones no permite ir hacia años más allá de 1925, se decidió hacer un análisis adicional construyendo posibles escenarios en base a criterios diferenciales de aproximación.

Gráfico 3

Tasas de fecundidad por grupos quinquenales de edad según año. Pronósticos sin y con pendiente. Argentina, 1925-1950



RELAP

Año 11  
Número 20

Primer  
semestre

Enero  
a junio  
de 2017

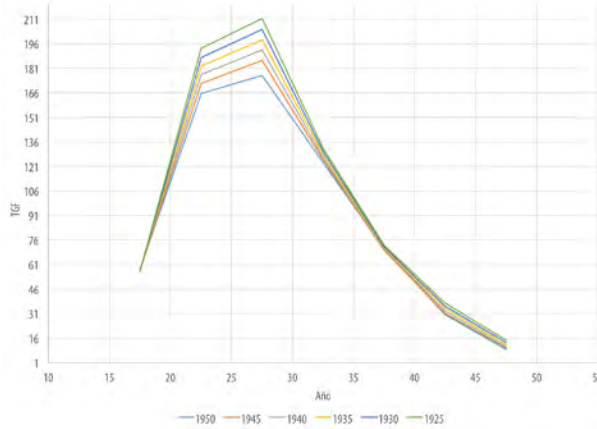
pp. 79-104

92

Proyecciones  
y retroproyecciones  
probabilísticas  
de las tasas  
de fecundidad  
por edad  
(1895-2040)

Sacco /  
Andreozzi

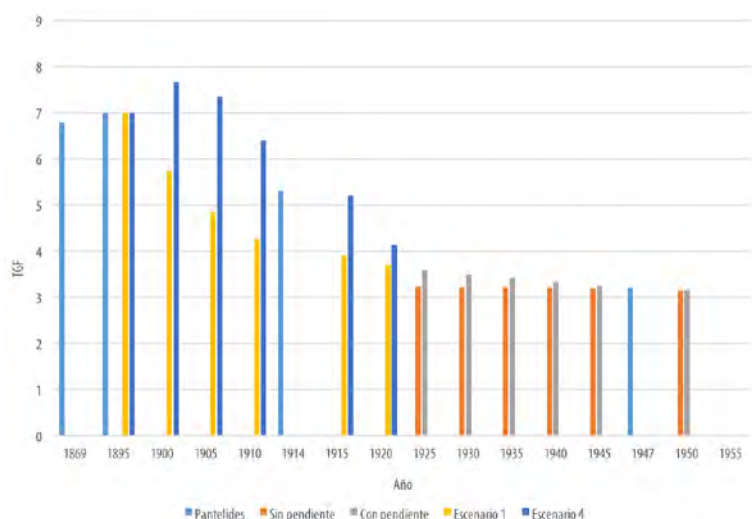
Con pendiente



Fuente: tablas 3 y 4 del anexo.

Gráfico 4

Tasa global de fecundidad por pronósticos sin y con pendiente y estimaciones según año. Argentina, 1869-1950



Fuente: tabla 1 a partir de: para 1869 Torrado (1970), para 1895 Arretx, Mellafe y Somoza (1977), para 1914 Rothman (1970), para 1947 Camisa (1965) citado en Pantelides (1989) y elaboración propia a partir de las tablas 4 y 5 del anexo.

### Más allá de las retroproyecciones

Mediante la misma metodología empleada para imputar datos faltantes (*splines*), se realizó una interpolación entre las tasas del año 1925 (último año de la retroproyección) y las estimadas por Arretx *et al.* (1977) para 1895 (tabla 1) (escenario 1). Adicionalmente, se estimaron las tasas de fecundidad por edad (transversales) a partir de Arriaga (1994)<sup>12</sup> y se interpolaron los datos entre 1925 y los estimados para 1914 y, con base en ellos, nuevamente hacia 1895 (escenario 2).

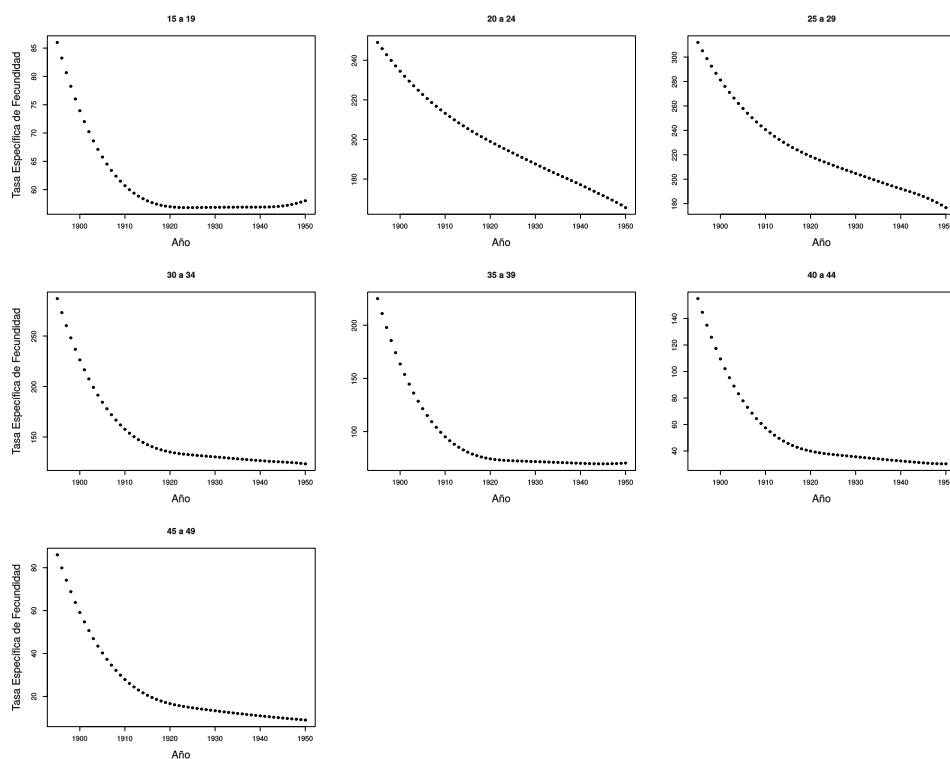
Los resultados de estos ejercicios se presentan en los gráficos 5 y 6. Esta interpolación permite evaluar el grado de «conexión» que existe entre los datos retroproyectados y la información disponible o construida, distinguiendo qué curva de interpolación por grupo de edad genera resultados más «suaves».

En el escenario 1 (interpolación entre las tasas del año 1925 y 1895) (gráfico 5), prácticamente todos los grupos de edad muestran series suaves que indican que la retroproyección realizada es razonable con los datos de 1895. Salvo los grupos de 20 a 24 años y de 25 a 29, el resto expone una curvatura mayor al conectar los datos mediante interpolación. Una comparación de los grupos de edad muestra que la declinación se produjo más pronunciadamente en el período 1895-1915 en las edades de 15 a 19 y de mayores de 30 años. Si bien los grupos de 20 a 24 y de 25 a 29 también muestran un importante descenso, su forma sugiere un proceso relativamente menos marcado.

12 Se utilizó el método indirecto y se aplicó el programa CBR-TFR del PASEX, que estima la TGF y la Tasa Bruta de Natalidad (TBN) con base en la población total, la población femenina en edades reproductivas por grupos quinquenales edad, la Tasa de Fecundidad General (TFG) y patrones empíricos de tasas de fecundidad específicas por edad incluidos en el programa.

Gráfico 5

Tasas de fecundidad por grupos quinquenales de edad según año (escenario 1). Argentina, 1895-1950



Fuente: elaboración propia y tabla 9 del anexo.

En cambio, en el escenario 2 (período 1925-1914) (gráfico 6) puede distinguirse que los grupos de 25 a 29 y de 40 a 44 presentan series suaves, mientras que en el resto de los grupos de edad la curvatura es más pronunciada. Dos posibles explicaciones pueden deducirse de estos resultados: o bien que las retroproyecciones quedaron a un nivel bajo a esas edades o que este comportamiento es coherente y se produce una baja de la fecundidad durante ese período en esas edades,<sup>13</sup> hipótesis más coherente con las tendencias históricas.

Habitualmente, cuando se trabaja con modelos que contemplan la correlación temporal presente en los datos, el horizonte de pronóstico que garantice resultados válidos se establece en función del error, que se refleja en la amplitud del intervalo de pronóstico. Sin embargo, en este artículo se procura establecer la precisión de los pronósticos generados en función de su coherencia con los datos o conjuntos de tasas que otros autores han establecido y queda para futuras investigaciones el análisis cuantitativo de las amplitudes de intervalos de pronóstico asociadas a cada resultado.

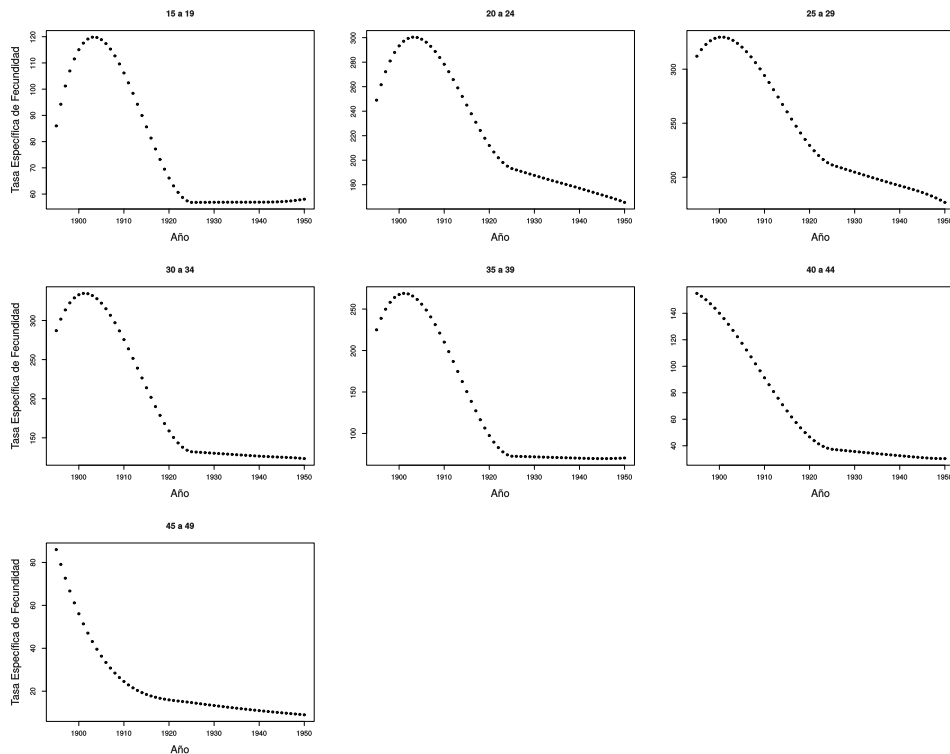
Conforme a literatura, el proceso de descenso de la fecundidad habría comenzado hacia 1895, resultado de un cambio en las estructuras de paridez, que se habría mantenido luego sin cambios hasta 1914, producto del número medio de hijos nacidos sin variación

13 Otro punto importante a destacar es la presencia de errores de registro, que suelen estar correlacionados con la edad, es decir, que hay grupos etarios que presentan una mayor componente de error que otros.



(Pantelides, 1982; 2006: 28). Según Otero (2006: 132), de acuerdo al modelo de lo sucedido en otros contextos, los cambios en el grupo de edad de la madre apuntaron a sustentar la idea de que el control reproductivo en Argentina operó en el sentido de interrupción de los nacimientos, en lugar de su espaciamento, ya que a partir de a partir de 1895 los descensos más importantes de la fecundidad ocurrieron en las mujeres mayores de 35 años.

Gráfico 6  
Tasas de fecundidad por grupos quinquenales de edad según año (escenario 2). Argentina, 1895-1950



Fuente: elaboración propia y tabla 10 del anexo

Al analizar la TGF producto de las retroproyecciones previas (tabla 2) se observan contrastes marcados. En el escenario 1 la caída del nivel de la fecundidad es más temprana, constante y pronunciada que en el escenario 2: de siete hijos por mujer en 1895 se pasa a 3,7 para 1920. En el escenario 2, en cambio, la TGF asciende durante el período 1895-1900 (hecho esperable al inicio de la transición demográfica) y recién luego comienza su descenso sostenido, durante el lapso de la estimación, llegando a una TGF de 4,13 en 1920. Esto produce diferencias significativas en el nivel de cada escenario, del orden, aproximadamente, de dos hijos por mujer durante 1900-1915 y menores (cerca de 1) para 1915-1920.

Si se comparan estos resultados con la estimación de Rothman (1970) a partir de datos censales, con una TGF de 5,3 para 1914 (tabla 1), el escenario más cercano es el 2 para 1915, con una TGF de 5,20 (esto era esperable dado que el resultado de la TGF de la estimación indirecta para 1914 fue de 5,4). Las estimaciones de Rothman para 1869 (5,1) y 1895 (5,5) no mostraban una declinación de la fecundidad durante esos años, tendencia —aunque no nivel— asimilable a la de Pantelides (1982) —basada en la estructura de paridez

calculada a partir de los censos (Pantelides, 2006: 27)—. La tendencia para el lapso 1869-1895 es en cambio descendente en las estimaciones de Torrado (1970), que se encuentran por encima de las de Rothman y Pantelides para 1869, con una TGF de 6,8 que baja a 6,2 en 1895. Independientemente de estos niveles estimados diferenciales, en conjunto, todas las aproximaciones conciertan en indicar, en especial luego de 1910, que se produjeron cambios masivos en el control de nacimientos en Argentina.

Tabla 2  
Tasa global de fecundidad por escenarios de estimación según año. Argentina, 1895-1920

Escenario	Año					
	1895	1900	1905	1910	1915	1920
1	7,00	5,74	4,85	4,26	3,90	3,70
2	7,00	7,67	7,35	6,40	5,20	4,13

Fuente: elaboración propia a partir de las tablas 9 y 10 del anexo.

RELAP

Año 11  
Número 20

Primer  
semestre

Enero  
a junio  
de 2017

pp. 79-104

96

Proyecciones  
y retropro-  
yecciones  
probabilísticas  
de las tasas  
de fecundidad  
por edad  
(1895-2040)

Sacco /  
Andreozzi

## Conclusiones y trabajo a futuro

Los resultados obtenidos se muestran relativamente plausibles y coherentes con la información y las tendencias sociodemográficas generales del proceso de transición de la fecundidad en Argentina. Resulta importante remarcar que la selección de un modelo contempla medidas estadísticas y también el conocimiento de expertos, que validan la propuesta sustentándose en conocimientos, investigaciones, experiencias y estudios previos. La metodología permitió incluir supuestos mediante restricciones matemáticas y la hipótesis seleccionada fue la que contempla pendiente.

La pendiente estimada se traduce en un ascenso hacia el pasado y un descenso hacia el futuro y las tasas fueron obtenidas puntualmente para cada año calendario junto con los intervalos que brindan una medida de la precisión y la certidumbre asociadas a los resultados. Con respecto a las estimaciones más allá de retroproyecciones, la elaboración de dos escenarios con base en distintos supuestos abre la posibilidad de reabordar aspectos no observables del proceso de transición de la fecundidad.

Un aspecto no advertido en los resultados de esta propuesta es la heterogeneidad interna de la Argentina. Debería incluirse un análisis por otros agregados poblacionales, siempre y cuando la información disponible lo permita, en distintos niveles de análisis. Ya que la información de registros vitales (a partir de 1980) y la serie de Pantelides (1989) se encuentran desagregadas por provincia, sería posible incorporar la metodología a ese nivel geográfico o al de agregados regionales (estadísticos). Otro punto a incorporar en futuras investigaciones sería el de modelar los datos teniendo en cuenta conjuntamente los otros dos fenómenos demográficos dejados de lado en este artículo: mortalidad y migraciones.

Las limitaciones de las fuentes utilizadas (población corregida por omisión censal y series de nacimientos por edad de la madre) podrían estar jugando un papel difícil de dilucidar en los resultados finales. En este sentido, otras posibles líneas de profundización futura serán las de cotejar, revisar y eventualmente corregir y ajustar la información base de este estudio, en particular, la serie de nacimientos que, en efecto, presentó distintos

tipos de problemas de calidad y para la que aún en 2001 se verificaba una omisión significativa (Fernández *et al.*, 2008).

Otro aspecto a ahondar es el cálculo de estimaciones de período de la estructura y el nivel de la fecundidad utilizando el método de hijos propios según los microdatos censales de 1895 y 1869 y, siguiendo la metodología propuesta para los datos de 1914, realizar el mismo ejercicio. A partir de los datos aquí construidos con un modelo, podrían reabrirse preguntas sobre estos procesos de cambio de la fecundidad en Argentina a lo largo del siglo xx, por ejemplo: ¿en qué grado fueron las subidas y bajadas de las tasas de fecundidad explicadas por las altas y bajas de la tasas de fecundidad de cohorte?

La metodología planteada en este artículo posee flexibilidad para ser objeto de constante revisión y al mismo tiempo se trata de una primera propuesta que responde a la necesidad de cubrir con información a un extenso período sin datos, territorio todavía inexplorado por la literatura en Argentina.

## Referencias bibliográficas

- ALHO, J. M. (2000), «A statistical look at Modeen's forecast of the population of Finland in 1934», en *Yearbook of Population Research in Finland*, vol. 36, pp. 107-120, en <<https://journal.fi/fypr/article/view/44949>>, acceso: 6/7/2017.
- ALKEMA, L.; RAFTERY, A. E.; GERLAND, P.; CLARK, S. J.; PELLETIER, F.; BUETTNER, T. y HEILIG, G. K. (2011), «Probabilistic Projections of the Total Fertility Rate for All Countries», en *Demography*, vol. 48 (3), pp. 815-839. doi:10.1007/s13524-011-0040-5.
- ANDREOZZI, L. (2016), *Pronósticos probabilísticos en Demografía*. Tesis para obtener el título de magíster en Estadística Aplicada, Rosario: Universidad Nacional de Rosario.
- ARRETX, C.; MELLAFE, R. y SOMOZA, J. L. (1977), *Estimación de la fecundidad mediante el método de los hijos propios aplicación a datos de la Argentina de 1895*, Santiago de Chile: Celade.
- ARRIAGA, E. E.; JOHNSON, P. D. y JAMISON, E. (1994), *Population Analysis with Microcomputers*, vol. 1, Washington D. C.: U. S. Bureau of the Census, en <http://7bn.net/rup/rupdoc.pdf>, acceso: 6/7/2017.
- BLACONÁ, M. T. y ANDREOZZI, L. (2014), «Análisis de la mortalidad por edad y sexo mediante modelos para datos funcionales», en *Estadística*, n.º 66 (186-187), pp. 65-89.
- BOOTH, H.; HYNDMAN, R. J.; TICKLE, L. y JONG, P. (2006), «Lee-Carter mortality forecasting: a multi-country comparison of variants and extensions», en *Demographic Research*, vol. 15 (9), pp. 289-310. doi: 10.4054/DemRes.2006.15.9.
- BOOTH, H.; MAINDONALD, J. y SMITH, L. (2002), «Applying Lee-Carter under conditions of variable mortality decline», en *Population Studies*, vol. 56 (3), pp. 325-336. doi: 10.1080/00324720215935.
- BOOTH, H.; TICKLE, L. y SMITH, L. (2005), «Evaluation of the variants of the Lee-Carter method of forecasting mortality: A multi-country comparison», en *New Zealand Population Review*, vol. 31 (1), pp. 13-34, en <[https://www.researchgate.net/profile/Heather\\_Booth/publication/230676927\\_Evaluation\\_of\\_the\\_Variants\\_of\\_the\\_Lee-Carter\\_Method\\_of\\_Forecasting\\_Mortality\\_A\\_Multi-Country\\_Comparison/links/odeec51882aac88269000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Heather_Booth/publication/230676927_Evaluation_of_the_Variants_of_the_Lee-Carter_Method_of_Forecasting_Mortality_A_Multi-Country_Comparison/links/odeec51882aac88269000000.pdf)>, acceso: 6/7/2017.
- BOZIK, J. y BELL, W. (1987), *Forecasting age-specific fertility using principal components*. Statistical Research Division Report Series (SRD Research Report Number: CENSUS/SRD/RR-87119). Washington, D. C.: Bureau of the Census, en <https://www.census.gov/srd/papers/pdf/rr87-19.pdf>, acceso: 6/7/2017.

- BROUHNS, N.; DENUIT, M. y VERMUNT, J. (2002), «A Poisson log-bilinear regression approach to the construction of projected lifetables», en *Insurance: Mathematics and Economics*, vol. 31 (3), pp. 373-393. doi: 10.1016/S0167-6687(02)00185-3.
- CABELLA, W. y PARDO, I. (2014), «Hacia un régimen de baja fecundidad en América Latina y el Caribe, 1990-2015», en CAVENAGHI, S. y CABELLA, W. (eds.), *Comportamiento reproductivo y fecundidad en América Latina: una agenda inconclusa*, Serie e-Investigaciones, n.º 3, Río de Janeiro: ALAP.
- CAMISA, Z. C. (1965), *Argentina. Proyección de la población por sexo y edad 1960-1980*. Serie C, n.º 62. Santiago de Chile: Celade.
- D'AMATO, V.; PISCOPO, G. y RUSSOLILLO, M. (2011), «The mortality of the Italian population: Smoothing techniques on the Lee-Carter Model», en *The Annals of Applied Statistics*, vol. 5, n.º 2A, pp. 705-724.
- ERBAS, B.; HYNDMAN, R. y GERTIG, D. (2007), «Forecasting age-specific breast cancer mortality using functional data models», en *Statistics in Medicine*, vol. 26 (2), pp. 458-470. doi: 10.1002/sim.2306.
- FERNÁNDEZ, M.; GUEVEL, C.; KRUPITZKI, H.; MARCONI, É. y MASSA, C. (2008), *Omisión de registro de nacimientos y muertes infantiles. Magnitud, desigualdades y causas*, Buenos Aires: OPS-Ministerio de Salud, 1.ª ed.
- GARCÍA GUERRERO, V. M. y ORDORICA MELLADO, M. (2012), «Proyección estocástica de la mortalidad mexicana por medio del método de Lee-Carter», en *Estudios Demográficos y Urbanos*, vol. 27, n.º 2 (80), mayo-agosto, pp. 409-448.
- GOVEA BASCH, J. E. (2013), *El estancamiento del descenso de la fecundidad en países de fecundidad intermedia. Evidencias del caso argentino*. Ciudad de México: Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales, El Colegio de México.
- GUERRERO GUZMÁN, V. M. y GONZÁLEZ PÉREZ, C. (2007), *Pronósticos estadísticos de mortalidad y su impacto sobre el sistema de pensiones de México*, en <[http://estadistica.itam.mx/sites/default/files/u486/178-174gonzalez\\_guerrero.pdf](http://estadistica.itam.mx/sites/default/files/u486/178-174gonzalez_guerrero.pdf)>, acceso: 27/7/2017.
- HYNDMAN, R. J. (2017), *Forecast: Forecasting functions for time series and linear models. R package version 8.1*, en <<http://github.com/robjhyndman/forecast>>, acceso: 6/7/2017.
- y BOOTH, H. (2008), «Stochastic population forecasts using functional data models for mortality, fertility and migration», en *International Journal of Forecasting*, vol. 24 (3), pp. 323-342. doi: 10.1016/j.ijforecast.2008.02.009.
- HYNDMAN, R. J. y ULLAH, M. S. (2007), «Robust forecasting of mortality and fertility rates: A functional data approach», en *Computational Statistics & Data Analysis*, vol. 51 (10), pp. 4942-4956. doi: 10.1016/j.csda.2006.07.028.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS (INDEC) (2013), *Estimaciones y proyecciones de población 2010-2040. Total del país*. Serie de Análisis Demográfico n.º 35, Buenos Aires: Indec, en <[http://www.indec.gov.ar/nuevaweb/cuadros/2/proyeccionesyestimaciones\\_nac\\_2010\\_2040.pdf](http://www.indec.gov.ar/nuevaweb/cuadros/2/proyeccionesyestimaciones_nac_2010_2040.pdf)>, acceso: 6/7/2017.
- JONG, P. D. y TICKLE, L. (2006), «Extending Lee-Carter mortality forecasting», en *Mathematical Population Studies*, vol. 13 (1), pp. 1-18. doi: doi.org/10.1080/08898480500452109.
- LEE, R. (1993), «Modeling and forecasting the time series of US fertility: age distribution, range, and ultimate level», en *International Journal of Forecasting*, vol. 9 (2), pp. 187-202. doi: 10.1016/0169-2070(93)90004-7.
- y CARTER, L. (1992), «Modeling and Forecasting U. S. Mortality», *Journal of the American Statistical Association*, vol. 87, pp. 659-671. doi: 10.1080/01621459.1992.10475265.
- LEE, R. y MILLER, T. (2001), «Evaluating the performance of the Lee-Carter Method for Forecasting Mortality», en *Demography*, vol. 38 (4), pp. 537-549. doi: 10.1353/dem.2001.0036.

- LEE, R. y ROFMAN, R. (1994), «Modelación y proyección de la mortalidad en Chile», en *Notas de Población*, n.º 59, pp. 182-213, en <<http://repositorio.cepal.org/handle/11362/12494>>, acceso: 6/7/2017.
- LEE, R. y TULJAPURKAR, S. (1994), «Stochastic population forecasts for the United States: Beyond high, medium, and low», en *Journal of the American Statistical Association*, vol. 89 (428), pp. 1175-1189.
- LESTHAEGHE, R. y WILLEMS, P. (1999), «Is low fertility a temporary phenomenon in the European Union?», en *Population and Development Review*, vol. 25 (2), pp. 211-228. doi: 10.1111/j.1728-4457.1999.00211.x.
- LI, S. y CHAN, W. (2005), «Outlier analysis and mortality forecasting: The United Kingdom and Scandinavian countries», en *Scandinavian Actuarial Journal*, vol. 2005 (3), pp. 187-211. doi: 10.1080/03461230510006973.
- MORTARA, G. (1949), «Methods of Using Census Statistics for the Calculation of Life Tables and Other Demographic Measures», en *Population Studies*, n.º 7, Series A.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU) (2015), *World Population Prospects: The 2015 Revision, DVD Edition*. Nueva York: Departamento de Asuntos Sociales y Económicos. División de Población, ONU, en <<http://esa.un.org/unpd/wpp/>>, acceso: 6/7/2017.
- OTERO, H. (2006), *Estadística y nación: una historia conceptual del pensamiento censal de la Argentina moderna, 1869-1914*. Buenos Aires: Prometeo Libros.
- PANTELIDES, E. A. (1982), *Las mujeres de alta fecundidad en la Argentina: pasado y futuro*. Cuaderno del CENEP, n.º 22, Buenos Aires: CENEP.
- (1983), *La transición demográfica argentina: un modelo no ortodoxo*, Buenos Aires: CENEP.
- (1989), *La fecundidad argentina desde mediados del siglo XX*, Buenos Aires: CENEP.
- (2006), *La transición de la fecundidad en la Argentina 1869-1947*, Buenos Aires: CENEP.
- QUARTULLI, D. (2014), *Historia y actualidad de dos muestras censales de población. Argentina, 1869 y 1895*, en <<http://censos1869-1895.sociales.uba.ar/materiales-de-archivo>>, acceso: 29/12/2014.
- RAFTERY, A. E.; ALKEMA, L.; GERLAND, P.; CLARK, S. J.; PELLETIER, F.; BUETTNER, T.; HEILIG, G.; LI, N. y ŠEVČÍKOVÁ, H. (2009), «White Paper: Probabilistic Projections of the Total Fertility Rate for All Countries for the 2010 World Population Prospects», ponencia presentada en *Expert Group Meeting on Recent and Future Trends in Fertility*, Nueva York: ONU, en <[https://esa.un.org/Unpd/Wpp/Publications/Files/Raftery\\_2009\\_Total%20Fertility%20Rate%20for%20All%20Countries%20for%20the%202010%20WPP.pdf](https://esa.un.org/Unpd/Wpp/Publications/Files/Raftery_2009_Total%20Fertility%20Rate%20for%20All%20Countries%20for%20the%202010%20WPP.pdf)>, acceso: 6/7/2017.
- RAFTERY, A. E.; LIB, N.; ŠEVČÍKOVÁ, H.; GERLAND, P. y HEILIG, G. K. (2012), «Bayesian probabilistic population projections for all countries», en *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 109, n.º 35, pp. 13915-13921. doi: 10.1073/pnas.1211452109.
- RAMSAY, J. O. y SILVERMAN, B. W. (2010). *Functional data analysis*. Nueva York: Springer Science+Business Media.
- RECCHINI DE LATTES, Z. L. y LATTES, A. E. (1975), *La población de Argentina*. Buenos Aires: Indec.
- RENSHAW, A. y HABERMAN, S. (2003), «Lee-Carter mortality forecasting: A parallel generalized linear modelling approach for England and Wales mortality projections», en *Applied Statistics*, vol. 52 (1), pp. 119-137. doi: 10.1111/1467-9876.00393.
- RODRÍGUEZ VIGNOLI, J. (2014), «Fecundidad adolescente en América Latina: una actualización», en CAVENAGHI, S. y CABELLA, W. (eds.), *Comportamiento reproductivo y fecundidad en América Latina: una agenda inconclusa*. Serie e-Investigaciones, n.º 3, Río de Janeiro: ALAP.

- ROTHMAN, A. M. (1970), *Evolución de la fecundidad en Argentina y Uruguay*. Documento de Trabajo n.º 69, Buenos Aires: Centro de Investigaciones Sociales, Instituto Torcuato Di Tella.
- (1973), *La fecundidad en la Argentina entre 1869 y 1970*. Serie E, n.º 13, Buenos Aires: Celade.
- SOMOZA, J. L. (1967), *Nivel y diferenciales de la fecundidad en la Argentina en el siglo XIX*. Documento de Trabajo n.º 45, Buenos Aires: Centro de Investigaciones Sociales, Instituto Torcuato Di Tella.
- TONG, H. (1990), *Non-linear Time Series: A Dynamical System Approach*. Oxford: Clarendon Press.
- TORRADO, S. (1970), «Natalidad y fecundidad en Argentina desde fines del siglo XIX», ponencia presentada en la *Conferencia Regional Latinoamericana de Población*, México.
- (1993), *Procreacion en la Argentina. Hechos e ideas*. Buenos Aires: Ediciones de la Flor.
- WILMOTH, J. (1993), *Computational methods for fitting and extrapolating the Lee-Carter model of mortality change. Technical Report*. Berkeley: Department of Demography, University of California.

RELAP

Año 11  
Número 20

Primer  
semestre

Enero  
a junio  
de 2017

pp. 79-104

100

*Proyecciones  
y retroproyecciones  
probabilísticas  
de las tasas  
de fecundidad  
por edad  
(1895-2040)*

Sacco /  
Andreozzi

YASMEEN, F. y MAHMOOD, Z. (2014), «An FDA Approach to Forecast Age-Specific Fertility Rates of Pakistan Region-Wise», en *Computer Science and Applications*, vol. 1, n.º 6, pp. 341-348, en <<http://www.ethanpublishing.com/uploadfile/2014/1225/20141225051247389.pdf>>, acceso: 6/7/2017.

## Anexo

Tabla 1  
Tasas de fecundidad (por mil) por grupos quinquenales de edad basadas en el supuesto de fecundidad estable (sin pendiente) según año. Argentina, 2015-2040

Grupo de edad	Año					
	2015	2020	2025	2030	2035	2040
15-19	59,61	57,67	57,11	57,08	57,13	57,13
20-24	114,31	112,61	114,13	113,09	113,43	113,14
25-29	113,63	116,89	116,45	116,86	116,41	116,47
30-34	101,64	100,72	100,44	100,56	100,50	100,50
35-39	61,42	59,39	59,34	59,09	59,24	59,18
40-44	17,01	17,23	17,02	17,02	16,99	16,99
45-49	2,63	2,57	2,55	2,54	2,53	2,53

Fuente: elaboración propia a partir de Estadísticas Vitales y ONU (2015).

Tabla 2  
Tasas de fecundidad (por mil) por grupos quinquenales de edad basadas en el supuesto de fecundidad decreciente (con pendiente) según año. Argentina, 2015-2040

Grupo de edad	Año					
	2015	2020	2025	2030	2035	2040
15-19	59,62	57,77	57,28	57,35	57,48	57,59
20-24	113,79	109,43	108,14	104,41	101,99	99,05
25-29	113,04	113,16	109,53	106,71	103,14	100,11
30-34	101,40	99,22	97,64	96,42	95,03	93,69
35-39	61,31	58,72	58,09	57,25	56,80	56,14
40-44	16,90	16,54	15,75	15,18	14,59	14,05
45-49	2,59	2,33	2,11	1,91	1,73	1,57

Fuente: elaboración propia a partir de Estadísticas Vitales y ONU (2015)

Revista  
Latino-  
americana  
de Población

Año 11  
Número 20

Primer  
semestre

Enero  
a junio  
de 2017

**101**

Proyecciones  
y retropro-  
yecciones  
probabilísticas  
de las tasas de  
fecundidad  
por edad  
(1895-2040)

Tabla 3  
Tasas de fecundidad (por mil) por grupos quinquenales de edad basadas en el supuesto de fecundidad estable (sin pendiente) según año. Argentina, 1950-1925

Grupo de edad	Año					
	1950	1945	1940	1935	1930	1925
15-19	58,06	57,17	57,01	57,04	57,06	57,06
20-24	164,33	167,65	169,42	170,17	170,64	170,94
25-29	175,25	181,11	182,92	183,79	184,32	184,67
30-34	123,00	123,78	123,83	124,10	124,29	124,40
35-39	70,20	69,06	69,02	69,17	69,28	69,33
40-44	29,96	29,92	30,30	30,55	30,69	30,77
45-49	8,77	9,17	9,40	9,56	9,65	9,71

Fuente: elaboración propia a partir de Pantelides (1989) y ONU (2015).

Tabla 4  
Tasas de fecundidad (por mil) por grupos quinquenales de edad basadas en el supuesto de fecundidad decreciente (con pendiente) según año. Argentina, 1950-1925

Grupo de edad	Año					
	1950	1945	1940	1935	1930	1925
15-19	58,04	57,12	56,92	56,91	56,88	56,83
20-24	165,57	171,63	177,13	182,27	187,61	193,16
25-29	176,71	185,88	192,16	198,31	204,71	211,38
30-34	123,47	125,24	126,62	128,43	130,32	132,22
35-39	70,40	69,67	70,19	70,98	71,78	72,57
40-44	30,31	31,03	32,50	34,04	35,65	37,35
45-49	9,00	9,93	10,94	12,07	13,32	14,69

Fuente: elaboración propia a partir de Pantelides (1989) y ONU (2015).

Tabla 5  
Intervalos de pronóstico para las tasas de fecundidad (por mil) por grupos quinquenales de edad obtenidas mediante el supuesto de fecundidad estable (pronósticos, años seleccionados) según año. Argentina, 2015-2040

Grupo de edad	Año					
	2015	Inferior	Superior	2040	Inferior	Superior
15-19	59,61	57,59	61,69	57,13	48,47	67,35
20-24	114,31	109,41	119,44	113,14	87,29	146,90
25-29	113,63	108,27	119,26	116,47	87,29	155,53
30-34	101,64	98,64	104,74	100,50	86,14	117,45
35-39	61,42	59,83	63,04	59,18	53,03	66,05
40-44	17,01	16,23	17,83	16,99	12,97	22,52
45-49	2,63	2,37	2,91	2,53	1,33	4,81

Fuente: elaboración propia.

RELAP

Año 11  
Número 20

Primer  
semestre

Enero  
a junio  
de 2017

pp. 79-104

102

Proyecciones  
y retroproyecciones  
probabilísticas  
de las tasas  
de fecundidad  
por edad  
(1895-2040)

Sacco /  
Andreozzi



Tabla 6

Intervalos de pronóstico para las tasas de fecundidad (por mil) por grupos quinquenales de edad obtenidas mediante el supuesto de fecundidad con pendiente (pronósticos, años seleccionados) según año. Argentina, 2015-2040

Grupo de edad	Año					
	2015	Inferior	Superior	2040	Inferior	Superior
15-19	59,62	57,61	61,70	57,59	49,06	67,61
20-24	113,79	108,93	118,88	99,05	80,78	121,47
25-29	113,04	107,72	118,62	100,11	79,88	125,46
30-34	101,40	98,41	104,48	93,69	82,34	106,81
35-39	61,31	59,73	62,93	56,14	51,32	61,44
40-44	16,90	16,13	17,71	14,05	12,10	16,35
45-49	2,59	2,34	2,87	1,57	1,14	2,17

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7

Intervalos de pronóstico para las tasas de fecundidad (por mil) por grupos quinquenales de edad obtenidas mediante el supuesto de fecundidad estable (retroproyección, años seleccionados) según año. Argentina, 1925-1950

Grupo de edad	Año					
	1925	Inferior	Superior	1950	Inferior	Superior
15-19	58,06	53,64	62,84	57,06	47,81	68,12
20-24	164,33	148,88	181,40	170,94	128,05	228,69
25-29	175,25	157,14	195,45	184,67	134,43	253,94
30-34	123,00	115,04	131,53	124,40	105,17	147,45
35-39	70,20	66,32	74,31	69,33	61,61	78,03
40-44	29,96	27,10	33,15	30,77	22,15	43,50
45-49	8,77	7,21	10,67	9,71	4,76	19,85

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8

Intervalos de pronóstico para las tasas de fecundidad (por mil) por grupos quinquenales de edad obtenidas mediante el supuesto de fecundidad con pendiente (retroproyección, años seleccionados) según año. Argentina, 1925-1950

Grupo de edad	Año					
	1925	Inferior	Superior	1950	Inferior	Superior
15-19	58,04	53,64	62,80	56,83	47,80	67,57
20-24	165,57	150,91	181,66	193,16	154,75	241,16
25-29	176,71	159,50	195,78	211,38	165,81	269,48
30-34	123,47	115,72	131,75	132,22	115,00	152,37
35-39	70,40	66,60	74,42	72,57	66,02	79,81
40-44	30,31	27,82	33,04	37,35	31,30	44,68
45-49	9,00	7,67	10,56	14,69	10,38	20,82

Fuente: elaboración propia.

RELAP

Año 11  
Número 20

Primer  
semestre

Enero  
a junio  
de 2017

pp. 79-104

**103**

*Proyecciones  
y retroproyecciones  
probabilísticas  
de las tasas  
de fecundidad  
por edad  
(1895-2040)*

Sacco /  
Andreozzi

Tabla 9  
Tasas de fecundidad por edad (por mil) obtenidas mediante interpolación (escenario 1) según año. Argentina, 1895-1920

Año	Grupo de edad						
	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49
1895	86,00	249,00	312,00	287,00	225,00	155,00	86,00
1900	73,94	234,46	281,24	226,35	163,57	109,48	59,11
1905	65,75	222,70	257,90	184,43	121,52	77,87	40,25
1910	60,69	213,20	240,62	157,66	95,12	57,50	27,89
1915	58,02	205,46	228,02	142,43	80,65	45,73	20,52
1920	56,98	198,95	218,73	135,15	74,38	39,90	16,63

Fuente: elaboración propia.

Tabla 10  
Tasas de fecundidad por edad (por mil) obtenidas mediante interpolación (escenario 2) según año. Argentina, 1895-1920

Año	Grupo de edad						
	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49
1895	86,00	249,00	312,00	287,00	225,00	155,00	86,00
1900	115,04	293,29	329,60	332,91	267,54	140,04	56,08
1905	118,87	298,72	320,41	322,14	255,88	117,36	36,33
1910	106,17	278,28	294,13	275,56	210,15	91,31	24,53
1915	85,63	244,97	260,52	214,02	150,50	66,26	18,48
1920	66,11	212,01	229,48	158,82	97,48	46,69	15,95

Fuente: elaboración propia.

RELAP

Año 11  
Número 20

Primer  
semestre

Enero  
a junio  
de 2017

pp. 79-104

**104**

Proyecciones  
y retropro-  
yecciones  
probabilísticas  
de las tasas  
de fecundidad  
por edad  
(1895-2040)

Sacco /  
Andreozzi