



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ECONOMÍA**

**CÁLCULO DE LA NAIRU EN MÉXICO,  
1994Q1-2018Q4**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**  
**LICENCIADA EN ECONOMÍA**  
**P R E S E N T A:**

**YOSELIN IVETTE PÉREZ RAMÍREZ**

**DIRECTOR DE TESIS:**  
**DR. EDUARDO LORÍA DIAZ DE GUZMÁN**

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2021





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

“Economists are all too often preoccupied with petty mathematical problems of interest only to themselves. This obsession with mathematics is an easy way of acquiring the appearance of scientificity without having to answer the far more complex questions posed by the world we live in.”

Thomas Piketty

El presente trabajo es el fruto de varios años de esfuerzo, dedicación y perseverancia. En todos estos años nunca estuve sola, siempre conté con la ayuda y apoyo de muchas personas, es para ellos.

Para mi madre que nunca se rindió y siempre encontró la manera de salir adelante. Gracias mami. Para mi padre que, aun a la distancia y con todas nuestras diferencias, nunca dejó de creer en mí. Para mis hermanos, porque sin ellos mi vida no tendría sentido, espero que estén orgullosos de mí.

Para todos mis amigos, ustedes siempre estuvieron ahí en los momentos malos y buenos, no necesito decir sus nombres, ustedes saben que les agradezco infinitamente su apoyo y que siempre me tendrán como una amiga sincera.

Para mi asesor, el Dr. Eduardo Loría, cuya preocupación por mi salud y bienestar fue más allá de sus funciones, por sus comentarios, por motivarme y presionarme, gracias.

Para Eduardo Castañeda porque siempre supo cómo resolver mis dudas, por sus sugerencias, por todo, este trabajo no estaría terminado sin tu apoyo, gracias.

Gracias, no sería la persona que soy hoy sin ustedes.

# Índice

Introducción.....	3
Capítulo 1. Inflación y Política Monetaria.....	9
1.1 El modelo de las tres ecuaciones .....	14
Capítulo 2. Revisión de literatura.....	21
2.1 La tasa natural de desempleo y la NAIRU.....	22
2.2 Estudios sobre el cálculo de la NAIRU .....	25
Capítulo 3. Hechos estilizados .....	31
3.1 Evolución de la inflación .....	31
3.2 Evolución del desempleo .....	34
Capítulo 4. Aspectos econométricos .....	37
4.1 Modelos Estado-Espacio.....	37
4.2 Filtro de Kalman .....	40
4.2.1 Filtro.....	44
4.2.2 Suavizado .....	44
4.2.3 Condiciones iniciales.....	45
Capítulo 5. Cálculo de la NAIRU para México.....	48
5.1 El modelo.....	49
5.1.1 Elección de condiciones iniciales.....	52
5.2 Curva de Phillips.....	53
5.3 NAIRU estimada.....	56
5.4 Comparación estimaciones de NAIRU y brechas de desempleo.....	58
Conclusiones.....	63
Bibliografía.....	65
Anexo .....	71

## Introducción

El funcionamiento de una economía de mercado obliga a las autoridades a crear las condiciones necesarias para que se desarrolle la inversión, crezcan la producción y el empleo; además, debido a que la economía no se comporta como un mercado perfectamente competitivo, es necesario que corrija los efectos de choques de oferta o demanda permanentes, así como posibles fallas de mercado. Para esta tarea las autoridades cuentan principalmente con dos tipos de políticas económicas: la política fiscal y la política monetaria. La política fiscal puede ser empleada con una meta distributiva, además, es útil al crear estabilizadores automáticos, y desarrollar un entorno adecuado para el florecimiento de la inversión y el consumo a través de la minimización de los riesgos que minan ambas variables (Carlin y Soskice, 2015). La política monetaria se utiliza solamente para afinar la economía a corto plazo (Dornbusch, Fischer y Startz, 2009). El encargado de diseñarla y aplicarla es el Banco Central (BC). La institución construye una función de pérdida para la economía, en ella incorpora sus preferencias y decide si es más conveniente aumentar la actividad económica o disminuir la inflación (Carlin y Soskice, 2015).

El marco operativo de los BC ha respondido a la situación histórica. Tal es el caso de los esfuerzos mundiales por reducir la inflación crónica en las décadas de 1970-80 con el uso de agregados monetarios, y el impulso por la autonomía de los Bancos Centrales, hasta la política conocida como *inflation targeting* o metas/objetivos de inflación.

A pesar de que los Bancos Centrales en todo el mundo vigilan el producto y la inflación, el consenso actual en casi todas las economías es diseñar la política sobre un solo objetivo, estabilidad de precios, y a través de un instrumento, la tasa de interés nominal al corto plazo (Bernanke y Mishkin, 1999, Perrotini, 2007). Lo anterior se debe a que ambos objetivos son deseables, pero no compatibles al largo plazo. El BC no puede conducir a la economía a la plena utilización de sus recursos sin generar un aumento generalizado de los precios y no es posible mantener una tasa de inflación baja permanentemente sin disminuir la actividad económica. La inflación es en especial riesgosa porque deteriora los salarios reales, la creación de empleos y la distribución de la riqueza; también, daña la salud de las finanzas públicas, y perjudica el desarrollo de los mercados financieros y la inversión.

El enfoque de metas de inflación intenta evitar inconsistencias temporales<sup>1</sup> sin establecer reglas estrictas de acción para la política monetaria con el objetivo de mantener una inflación baja y estable. En este marco, el BC debe analizar toda la información disponible para tomar la mejor decisión y conducir a la economía a su inflación objetivo. El diseño correcto de la política monetaria y su implementación efectiva necesita un diagnóstico preciso y detallado sobre la holgura de la economía, es decir, una lectura adecuada de las presiones inflacionarias. Una lectura errónea puede llevar a un Banco Central a aplicar políticas que pueden desestabilizar la economía, amplificar el efecto de los choques e incluso hacer que el Banco Central pierda credibilidad. Por eso es de suma importancia contar con insumos adecuados para la lectura y posterior diseño de la política. En este sentido, entre los indicadores más usados se encuentran el PIB potencial y la tasa de desempleo que no acelera la inflación (NAIRU, por sus siglas en inglés). Ambas variables no son observables y se necesitan técnicas econométricas para obtenerlas.

La NAIRU es un concepto controversial que ha sido fuertemente criticada desde su aparición, en general se puede distinguir dos vertientes, por un lado, se hallan quienes encuentran en ella un indicador valioso en el diseño de política, y por el otro, quienes dudan de su utilidad.

En el primer grupo se encuentran autores como Turner *et al.*, (2001), Carstens y Reynoso (1997), Stiglitz (1997) y Gordon (1997) que sostienen que la NAIRU es un indicador fiable que tiene implicaciones inmediatas en la economía y puede proporcionar un punto de referencia para políticas futuras que serían sostenibles al corto plazo.

En el otro se encuentran autores como Galbraith (1997), Espinosa y Russel (1997) y Staiger, Stock y Watson (1997) que desestiman la utilidad de la misma ya sea porque no existe un método universalmente aceptado para su obtención, porque las estimaciones pueden ser poco precisas o simplemente porque consideran que el marco teórico en el que está sustentada no

---

<sup>1</sup> Finn Kydland y Edward Prescott (1977) escribieron un artículo seminal sobre el problema de la inconsistencia temporal y ganaron el Nobel de Economía en 2004. Los autores incorporaron expectativas a la curva de Phillips y demostraron que los gobiernos tienen incentivos políticos y electorales para manipular los tipos de interés y el dinero en circulación, para reducir la tasa de desempleo, generando más inflación. La inconsistencia temporal refiere al efecto que tienen las expectativas de los agentes ante una sorpresa monetaria que con el paso del tiempo anula los intentos de la política y solamente genera inflación.

es convincente, y temen que se tomen decisiones basadas en una variable que consideran inexacta.

Autores como Gordon (1997) y Staiger *et al.* (1997), y más recientemente los de Turner *et al.* (2001), Ball y Mankiw (2002), Greenslade, Pierse y Saleheen (2003) y Dickens (2008), entre otros, han desarrollado trabajos en los que se analiza utilidad de la NAIRU y proponen metodologías para su estimación. King, Stock y Watson (1995:3) señalan que las estimaciones de la NAIRU suelen darse en un rango y no como un número puntual, porque “si bien puede haber una variación de la NAIRU en el tiempo, es muy difícil estimar con precisión el nivel y la extensión de esta en cualquier momento del tiempo.”

Para el caso de México, el estudio de la NAIRU es escaso. Entre las investigaciones empíricas se encuentran las de Rodríguez, Ludlow y Peredo (2004), Acevedo (2008), Loría, Márquez y Ramírez (2008), Varela y Torres (2009) y recientemente el de Loría, Valdez y Tirado (2019).

Una de las metodologías más innovadoras y poco usadas para su obtención en México es a través de un modelo de estado-espacio y el filtro de Kalman. Un sistema en estado-espacio es una forma de denotar matemáticamente un sistema dinámico que recibe y genera información a través del tiempo. El comportamiento de dicho sistema puede estar determinado por variables internas observables o no, pero que pueden ser medibles o estimadas; dichas variables toman el nombre de variables de estado (Véase Millán, Iglesias y Gutiérrez, 2004, Guevara, 2016 y Rowell, 2002). Dado que las variables de estado determinan el comportamiento y trayectoria del sistema, si se modifica la magnitud de una de ellas es posible modificar o conducir el comportamiento del sistema a uno deseado (Maybeck, 1979).

Un sistema en estado-espacio necesita de dos tipos de ecuaciones: una que especifique la interacción entre las variables internas y el sistema, llamada ecuación de medida o señal, y otra que caracterice el comportamiento de las variables de estado, llamada ecuación de estado o transición. Si se desea hacer una analogía y aplicar esta noción a los determinantes de la inflación, la inflación sería el sistema dinámico caracterizado por variables que determinan su comportamiento: las expectativas, el exceso de demanda y los choques de oferta. Para eso, el sistema debe escribirse en forma de estado-espacio. Entonces la curva de Phillips funciona

como la ecuación de medida y el comportamiento de la NAIRU como la ecuación de transición (Turner *et al.*, 2001). En cuanto al filtro<sup>2</sup> de Kalman, este proporciona el estimador óptimo de variables no observables para un modelo dinámico y es uno de los algoritmos más utilizados para trabajar con modelos estado-espacio (Harvey, 1989).

Los Bancos Centrales al rededor del mundo tienen a la NAIRU como un indicador en la lectura de las presiones inflacionarias o del ciclo económico. A pesar de su importancia, en la actualidad no existe un consenso sobre la metodología correcta para estimarla, debido a que una técnica puede dar mejores resultados en un país que en otro. Esto crea la necesidad de encontrar la metodología que mejor se adecue a las características propias de cada país.

En el caso de México no existen publicaciones periódicas de la misma, y los trabajos que discuten la metodología de su estimación son escasos y poco recientes. En este sentido, aunque el filtro de Kalman se ha popularizado para estimar esta variable en países como Estados Unidos, Australia e incluso en la Unión Europea, para México sólo se encontró una investigación que usa este procedimiento pero no lo aborda a detalle.

La presente investigación pretende subsanar esta carencia actualizando un estudio poco reciente y planteando los aspectos más importantes de la metodología. El documento expone las dificultades y beneficios del filtro; además, sugiere recomendaciones para futuros estudios que deseen implementar la misma técnica, por lo que abre la discusión sobre su aplicación como una herramienta adecuada para calcular la NAIRU en nuestro país.

Este trabajo pretende demostrar que el filtro de Kalman proporciona una mejor estimación de la NAIRU que el uso de herramientas estadísticas como el filtro HP, debido a que incorpora no solo elementos estadísticos sino también elementos teóricos en su especificación y obtención.

El presente documento tiene como objetivo calcular la tasa de desempleo congruente con una inflación estable (NAIRU) para México en el periodo comprendido entre 1994Q1 y 2018Q4, empleando un modelo de estado-espacio a través del filtro de Kalman discreto, para este

---

<sup>2</sup> La palabra filtrar en ingeniería puede ser equivalente a la palabra estimar ampliamente reconocida en econometría.

objetivo el documento se ayuda de la metodología planteada por Gordon (1997), y el estudio de Acevedo (2008).

Es importante reconocer que la estimación de la NAIRU es sensible a la metodología empleada para su obtención, por tanto, la interpretación de los resultados debe tomarse con precaución. Los resultados obtenidos se presentan como un rango debido al grado de incertidumbre y a la dificultad por obtener una estimación puntual de la NAIRU.

En el periodo elegido se distinguen dos regímenes de política monetaria. Antes del 2001 Banco de México empleaba como instrumento el manejo de agregados monetarios y a partir de 2001 aplicó la política de objetivos de inflación. A través de esta metodología se obtienen resultados congruentes con la teoría de la NAIRU y su relación con la curva de Phillips para México, sin importar el régimen de política monetaria. Los resultados obtenidos confirman una curva de Phillips con pendiente negativa en el periodo 1994Q1-2018Q4, por tanto, que existe una relación significativa y teóricamente consistente entre la tasa de desempleo y la variación de la inflación para el mismo periodo.

Se encontró una NAIRU variante en el tiempo entre 2.2 y 4.4 por ciento para el último trimestre de 2018. De acuerdo con este procedimiento desde inicios de del año 2000 y finales del 2018 la NAIRU aumentó de 2.58 a 3.32 por ciento de la población económicamente activa, indicando que actualmente la economía es capaz de absorber una menor proporción de trabajadores de la fuerza laboral, sin que ello ocasione mayores presiones inflacionarias. Se encontró que la crisis de 2001 y en la crisis de 2008 tuvieron efectos reales y persistentes en los determinantes de la NAIRU.

Se concluye que: a) hay una curva de Phillips para la economía mexicana en el periodo estudiado y en este marco, la NAIRU existe en la economía mexicana y corresponde al nivel de desempleo coherente con la estabilización de la inflación, b) la brecha estimada con este procedimiento puede explicar los episodios inflacionarios y des inflacionarios con mayor precisión que la obtenida por el filtro HP, por tanto, la NAIRU estimada con el filtro de Kalman, proporciona mejores resultado que la NAIRU\_HP

Se prueba que para la formación de las expectativas de inflación los agentes toman en cuenta la inflación anterior inmediata y en menor medida la inflación de los 6 meses precedentes.

Se determina que el filtro de Kalman proporciona buenos resultados al arrojar parámetros aceptables y confirmar la relación teórica esperada entre la brecha de desempleo y la inflación obteniendo una curva de Phillips de pendiente negativa durante todo el periodo. Se advierte que debido a los supuestos implícitos de la metodología, es necesario, tomar precauciones en su utilización, debido a que los resultados obtenidos son sensibles a varios parámetros impuestos por el usuario, a diferencia de otros filtros como el Holdrick-Prescott.

El documento sigue la siguiente estructura: en el primer capítulo se presenta una breve revisión de la teoría en la que está sustentada la política monetaria actual. En el capítulo dos se hace una revisión de literatura del marco teórico del que parte la NAIRU, la curva de Phillips, y posteriormente se revisan los trabajos teóricos y aplicados para la metodología escogida y la breve revisión de los estudios que ya existen sobre la NAIRU en México. En el capítulo tres se presentan los hechos estilizados de la relación entre la inflación y el desempleo. En el capítulo cuatro se presentan los fundamentos de los modelos de estado-espacio y el filtro de Kalman. En el capítulo cinco se presentan los resultados de la curva de Phillips y la NAIRU variantes en el tiempo resultante, se comparan con una NAIRU y brecha con filtro HP, y finalmente se presentan las conclusiones generales.

## Capítulo 1. Inflación y Política Monetaria.

En la actualidad, los Bancos Centrales vigilan la estabilidad de precios con especial recelo. Aunque en los países desarrollados como Estados Unidos, Francia o Japón, la inflación es ser cosa del pasado, pues actualmente se enfocan en la deflación, en países en desarrollo como México, Argentina y Chile la inflación aún es un motivo de preocupación y análisis.

Blanchard, Amighini y Giavazzi (2012) distingue cuatro costos de la inflación para la economía:

- A mediano plazo, un aumento de la tasa de inflación provoca una subida de las tasas de interés nominales y, por tanto, un aumento del costo de oportunidad de tener dinero. Como consecuencia, el público reduce sus saldos monetarios acudiendo más a menudo al banco,<sup>3</sup> esto significa que pierde el interés que ganaría si tuviera un activo que pague dicha tasa.
- Un sistema impositivo mal planteado puede generar distorsiones fiscales. La interacción entre el sistema tributario y la inflación puede crear confusión, debido a que la inflación afecta directamente el ingreso real percibido por los agentes económicos, en muchos casos el ingreso nominal puede estar aumentando, pero el real se mantiene o disminuye al descontar impuestos, es decir se modifica la renta neta real.
- Cuando la población valora los cambios nominales frente a los cambios reales y no toma en cuenta la inflación, afecta su percepción de las tasas de interés real y nominal, los salarios y sus ingresos. Este fenómeno se llama ilusión monetaria y genera información equivocada y mala toma de decisiones.
- Una inflación más volátil significa que los activos financieros que pagan un tipo de interés nominal fijo se vuelven más arriesgados; además una inflación volátil mina los salarios reales y es perjudicial para el consumo.

---

<sup>3</sup> Blanchard *et al.* (2012:544) lo llama “costos de suela de zapato”, en Dornbusch *et al* (2009:166) se puede encontrar como “costos de caminata”

Para Dornbusch *et al.* (2009) la inflación crónica puede provocar que el dinero deje de ser un medio de cambio y la producción puede disminuir drásticamente, mientras que la inflación imprevista tiene un costo distributivo entre los deudores y acreedores.

La inflación no siempre representó una amenaza, de hecho, hasta el periodo entre guerras el mundo experimentaba una relativa estabilidad de precios. La situación cambió cuando a inicios de los años setenta la inflación registró una sostenida tendencia al alza generalizándose entre países industrializados y en vías de desarrollo.

Las primeras dos experiencias inflacionarias mundiales, 1973-74 y 1979-80, se asocian usualmente a choques de oferta, en particular al aumento en los precios de materias primas, y principalmente el precio del petróleo.<sup>4</sup> Sin embargo, el origen se encuentra en factores que se conjugaron creando un sistema insostenible al largo plazo, entre ellos se encuentra la limitación de la capacidad productiva, la rigidez en los mercados laborales, la capacidad de los salarios y la estructura del empleo. Las políticas expansivas de demanda crearon presiones en los salarios y precios. Estas presiones se volvieron cruciales cuando los choques de oferta aparecieron, pues la inflación llegó acompañada de contracción económica, convirtiéndose en una situación insólita y difícil de controlar. En los episodios de 1989-90 y 1994 las presiones fiscales y los niveles de deuda jugaron un papel crucial en la inflación crónica de los países en desarrollo.

El Fondo Monetario Internacional (IMF por sus siglas en inglés) (1996) señaló que mientras que en los países en vías de desarrollo el nivel de la deuda pública creó presiones fiscales difíciles de contener; en los países industrializados la expansión del crédito provocó un aumento en la demanda de los activos, aumentando su precio, lo cual se vio reflejado en el aumento de la demanda agregada, en el apalancamiento de la economía y el nivel de la deuda, lo cual en su conjunto presionó la inflación. Encontró, además, que la variación de la inflación en los países industrializados a mediano y largo plazos fue explicada principalmente

---

<sup>4</sup> Para mayor detalle, el Fondo Monetario Internacional en su *Perspectiva Económica Mundial*, octubre de 1996, capítulo VI “la subida y la caída de la inflación”, analiza a fondo los choques que provocaron el alza inflacionaria en diferentes periodos post guerra, así como las políticas monetarias empleadas para atenuar dicha alza.

por la brecha de producto, mientras que en los países en vías de desarrollo lo fueron las presiones fiscales.

En cuanto a la política económica, Blanchard *et al.* (2012) menciona que a mediados de los años setenta muchos de los Bancos Centrales adoptaron metas de crecimiento monetario. El modelo keynesiano de las curvas IS-LM<sup>5</sup> regia las directrices macroeconómicas y se aceptaba que la oferta del dinero era exógena, es decir, que el BC podía hacer aumentar o disminuir la oferta de dinero a voluntad bajo el supuesto de que había una relación estrecha entre la inflación y el crecimiento de los agregados monetarios.

Con el proceso de globalización y la revolución tecnológica el mundo sufrió cambios que modificaron la dinámica económica, y se reflejaron directamente en la complejidad de los mercados financieros. La aparición de varios niveles de intermediación entre los propietarios de la riqueza y los que desean usarla, así como la aparición de activos financieros, que modificaron la forma de adquirir deuda y crearon un mercado financiero cada vez más sofisticado e inestable.<sup>6</sup> El papel de la deuda en el financiamiento de la economía se volvió cada vez más importante. La relación entre los agentes económicos y las entidades financieras creció de tal manera que cambió drásticamente lo que se creía sobre la oferta de dinero y su utilidad para la política monetaria.

Como explica Palley (2001), la oferta de dinero es endógena, pues los préstamos crean los depósitos y no al revés.<sup>7</sup> En resumen, el dinero se crea para responder a las solicitudes de deuda, ya sea para inversión o consumo; luego regresa a los bancos en forma de depósitos, después los bancos lo envían a las empresas esperando obtener intereses; finalmente, las empresas, y los demás agentes económicos, pagan a los bancos y estos hacen lo mismo con sus depositarios.

---

<sup>5</sup> Las curvas IS-LM reflejan todos los puntos en los que existe equilibrio entre la inversión y el ahorro, y la oferta y demanda de dinero respectivamente. A pesar de ser un buen ejemplo del funcionamiento de la economía, dicho modelo ha sido fuertemente criticado por su debilidad empírica y en la actualidad ha pasado a ser sólo una herramienta didáctica.

<sup>6</sup> La “Hipótesis de la inestabilidad financiera” es un ejemplo del análisis y debate que surgió con los cambios en el sistema financiero mundial (Minsky, 1992).

<sup>7</sup> La endogeneidad del dinero postula que los BC no establecen la cantidad de dinero sino su precio; el sistema bancario fija una tasa de interés para el mercado de dinero con el que se presta a los solicitantes de crédito, lo que a su vez regula la cantidad de dinero en circulación (Palley, 2001:161).

A pesar de que existe el consenso de que la inflación es un fenómeno monetario al largo plazo, la evidencia mostró una debilidad en la relación entre el manejo del crecimiento de los agregados monetarios y la inflación, y evidenció que al corto plazo la inflación es un fenómeno de demanda. Dornbusch *et al.* (2009) explica que esto se debe a que los agregados monetarios no podían incrementar el PIB. La causa es que la curva de la oferta agregada de largo plazo es vertical, de modo que las políticas de los Bancos Centrales hacían subir y bajar la curva de la demanda agregada por la curva de la oferta agregada, lo que modificaba los precios, pero no la producción, Dornbusch *et al.* (2009:185). En el corto plazo, la curva de la oferta agregada es horizontal, por lo que el banco central puede estimular la actividad económica, pero solo temporalmente, como resultado, los precios subirán en el futuro.

Por tanto, el uso de una tasa objetivo de crecimiento del dinero en el manejo de la política monetaria no dio los resultados esperados, por tanto, los BC se vieron obligados a abandonar o restar importancia al crecimiento monetario como instrumento de política y optaron por el uso de otros instrumentos como la tasa de interés.

El IMF (1996) menciona que, en la década de 1990 Nueva Zelanda, Canadá, Chile, el Reino Unido, Suecia, Finlandia, Australia y España adoptaron objetivos oficiales de inflación como el foco principal para la conducción de la política monetaria. Años después se les sumaron Estados Unidos, Japón, Alemania y algunos países emergentes como Israel y México. El enfoque de metas de inflación se da bajo la aceptación de rigideces nominales en los precios y en un contexto histórico en el que se adoptó la libre flotación del tipo de cambio y diversos países ya habían otorgado autonomía a su banca central.<sup>8</sup>

Bernanke y Mishkin (1997) caracterizan el enfoque de metas de inflación (*inflation targeting*) por: a) el anuncio oficial de los rangos objetivo para la tasa de inflación en uno o más horizontes; b) el reconocimiento explícito de que una inflación baja y estable es el objetivo primordial de la política monetaria; c) una mayor comunicación con el público sobre

---

<sup>8</sup> México adoptó un régimen de libre flotación el 22 de diciembre de 1994, en el mismo año Banco de México obtuvo su autonomía y adoptó formalmente el régimen de objetivos de inflación en el año 2001. Para más información revisar Programa de Política Monetaria para 2001 y Programa de Política Monetaria para 2003 de Banco de México.

los planes y objetivos de los formuladores de políticas monetarias; y d) mayor responsabilidad del Banco Central para alcanzar esos objetivos.

El objetivo del sistema de metas de inflación es conducir la economía en una transición gradual desde el nivel actual de inflación hasta el nivel considerado consistente con la estabilidad de precios. El IMF (1996) argumenta que los objetivos explícitos de inflación desempeñan dos funciones principales para la política monetaria: en primer lugar, al hacer público el objetivo, permite la coordinación de los procesos de establecimiento de precios y la formación de las expectativas de inflación del público. En segundo lugar, proporcionan una guía transparente para la conducción de la política monetaria, ya que se puede evaluar su compromiso y credibilidad sobre la base de si se toman medidas de política para asegurar que se alcancen los objetivos.

Para dicho objetivo, el régimen de metas de inflación se apoya de la tasa de interés de referencia como instrumento principal. Como señala Blanchard, Dell’Ariccia y Mauro (2010) si todas las tasas y los precios están vinculados a través del arbitraje, los efectos reales de la política monetaria tendrán lugar a través de las tasas de interés y los precios de los activos. Entonces, el banco central puede controlar directamente la tasa de interés de corto plazo mediante operaciones de mercado abierto, incidiendo sobre la demanda agregada y en consecuencia sobre la trayectoria del nivel de precios.

Carlin y Soskice (2015) reconocen cuatro mecanismos de transmisión de la tasa de interés sobre la demanda agregada y la inflación:

1. Las tasas de mercado modifican la demanda agregada a través su efecto sobre la inversión y el consumo sensibles a la tasa de interés.
2. Las tasas de interés del mercado pueden afectar los precios de los activos, como las acciones y los precios de la vivienda.
3. La postura política futura del Banco Central puede afectar el comportamiento de las expectativas y la confianza de los agentes económicos.
4. Las tasas de interés afectan directamente los tipos de cambio y estos a su vez, afectan tanto la demanda externa neta como los precios de importación. El primero afecta la demanda agregada, mientras que el segundo alimenta directamente la tasa de inflación.

Blinder (1998) argumenta que la incertidumbre existente en la política monetaria provoca dificultades en su diseño. Por un lado, porque nadie conoce el modelo real de la economía, pero intenta acercarse a través de modelos econométricos; por otro lado, porque se desconoce cuánto tardará la política en hacer efecto, cuál es el instrumento adecuado para su aplicación y cuál es la función objetivo. Es decir, cuál es la función de bienestar o de pérdida que garantice el máximo bienestar social traducido en una menor inflación y máximo producto; o en el caso de las metas de inflación, la función de pérdida que minimice la distancia entre la inflación actual y la meta de inflación. Sin embargo, también señala que eso no significa que las estimaciones econométricas deban ser ignoradas, en realidad es todo lo contrario, para minimizar dicha incertidumbre es necesario el uso de indicadores y modelos, aunque imperfectos, para sustentar la lectura de los *policy makers* y sus decisiones posteriores.

### 1.1 El modelo de las tres ecuaciones

A diferencia de la teoría neoclásica, la perspectiva neokeynesiana admite que los precios no son perfectamente flexibles y, por tanto, no se ajustan de forma instantánea para vaciar los mercados de bienes, de trabajo y/o monetarios, (Lavoie, 2014). Lo anterior da como resultado que exista un exceso de demanda (bienes) u oferta (desempleo) en respuesta a dichos choques, y abre paso al uso de la política monetaria y/o fiscal para restablecer el equilibrio. Carlin y Soskice (2015) hicieron un esfuerzo por compilar el consenso neokeynesiano al respecto, y presentaron el modelo de las tres ecuaciones (M3E): demanda agregada (AD, por sus siglas en inglés), oferta agregada (AS, por sus siglas en inglés) y regla monetaria (*monetary rule* o MR). En ese contexto, el modelo de las tres ecuaciones asume un mercado de competencia imperfecta.

El modelo se encuentra en el *mainstream* de la política monetaria, y refleja la dinámica de la economía ante choques de oferta o demanda ante un contexto de fijación de precios. El mismo permite a la autoridad tomar en cuenta sus preferencias y objetivo para dar la mejor respuesta posible. Para su funcionamiento, el modelo utiliza 3 curvas: Por el lado de la demanda agregada, la curva IS muestra las combinaciones de tasa de interés y de producto en las cuales el gasto agregado de la economía es igual al producto (Dornbusch *et al*, 2009). La pendiente es negativa porque cuando las tasas de interés son altas, el consumo en bienes de capital disminuye. La variación en el consumo modifica la producción, y a su vez la

demanda de mano de obra. El lado de la oferta es un poco más complicado. En el mercado de mano de obra existe una tasa de desempleo involuntario que no es eficiente, debido a que es mayor al friccional<sup>9</sup>, y se debe directamente al mecanismo de fijación de salarios (Blanchard y Katz, 1997). En este mercado se tienen en cuenta factores como la organización de la empresa, el poder de negociación de los trabajadores y la naturaleza del trabajo. De acuerdo con Carlin y Soskice (2015) en la curva de fijación de salarios (WS por *wage setting*) actúa el poder de negociación de los trabajadores que depende de la oferta de mano de obra. De tal manera que los trabajadores pujaran el salario al alza si el desempleo es bajo, y viceversa. Mientras tanto, en la curva de fijación de precios (PS por *price setting*) se refleja la demanda de mano de obra. Las empresas fijan sus precios tomando en cuenta un margen de ganancia deseado y sus costos (el salario). Dichos costos dependen del nivel de producción deseado que a su vez influye en el salario de eficiencia que las empresas consideran puede aumentar la productividad de sus trabajadores y asegurar que no abandonen el puesto. Dicho salario es mucho más alto que el salario de reserva<sup>10</sup> y mayor al salario en un mercado competitivo (Blanchard y Katz, 1997).

En la intersección entre ambas curvas (E) coinciden las aspiraciones salariales de los trabajadores y el salario de eficiencia propuesto por las empresas. Por tanto, en ese punto se determina el salario real y el de equilibrio, así como la tasa de desempleo y la tasa de desempleo de equilibrio ( $u^*$ ) (Gráfica 1). Además, gracias a que los salarios y precios nominales aumentan al mismo ritmo, en este punto, el salario real es constante y por tanto existe equilibrio con inflación constante. El movimiento de ambas curvas en respuesta a la expansión o contracción de la demanda agregada da lugar a la curva de Phillips. Carlin y Soskice (2015:95) usan una curva de Phillips que incorpora una brecha de producto para aproximarse al exceso de demanda.

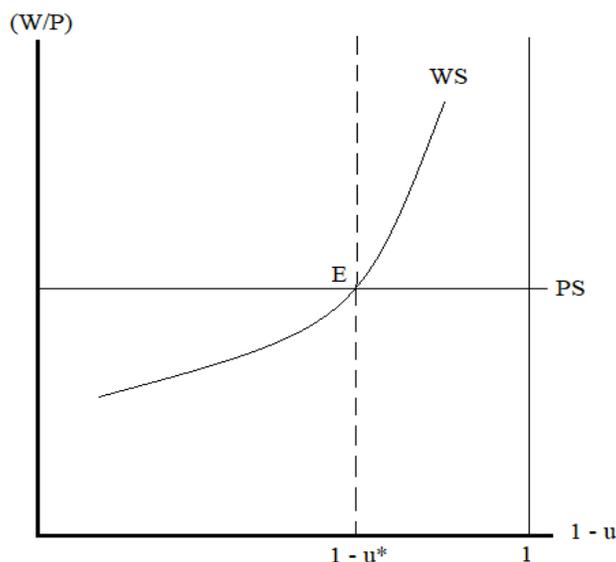
---

<sup>9</sup> El desempleo friccional se refiere al desempleo inherente a los flujos de trabajadores dentro del mercado, ya sea por los trabajadores que desean cambiar de empleo o por aquellas empresas que aumentan o disminuyen su planta laboral.

<sup>10</sup> El salario de reserva en este marco es aquel salario en el que a un trabajador le es indiferente estar empleado o no, puesto que ambos le generan la misma utilidad.

Gráfica 1

Equilibrio entre curva PS y curva WS



Fuente: elaboración propia basada en Carlin y Soskice (2015) y Blanchard y Katz (1997)

Para que el modelo de las tres ecuaciones funcione necesita que la curva de Phillips tenga una pendiente positiva, algo que sólo se logra usando el producto potencial ( $y^*$ ) puesto que la pendiente de la curva refleja la diferencia entre el producto actual menos el de equilibrio.

Finalmente, la curva MR representa la regla monetaria del Banco Central, dicha curva está determinada por la función de pérdida del BC, en ella está plasmado el *trade-off* de las preferencias de este, su aversión por la inflación o su deseo por acercarse al producto de equilibrio. La forma e inclinación de la curva también indica la trayectoria que planea el BC para que la economía regrese a su tasa objetivo en caso de un choque de oferta o demanda permanente (Carlin y Soskice, 2015).

Una vez expuesto lo anterior, el funcionamiento del modelo en una economía cerrada es el siguiente: ante un choque de oferta o demanda que modifique la inflación de manera permanente, el BC analiza toda la información disponible y estima una nueva PC y decide aumentar o disminuir la tasa de interés para ubicarse nuevamente en la curva MR, dicha curva marcará el retorno de la economía a la inflación deseada. Dependiendo de la situación, el incremento o disminución reducirá o aumentará la inversión y, en consecuencia, aumentará la demanda agregada y el ingreso. Este conjunto de factores resultará en una brecha de

producto positiva o negativa que afectará la demanda de mano de obra y dará lugar a cambios en los salarios y precios, conduciendo así la tasa de inflación al nivel deseado.

El modelo de las tres ecuaciones es útil para disminuir la inflación en una economía cerrada, sin embargo, también es útil en una economía abierta y su funcionamiento es similar. Al abrir la economía, suponiendo un tipo de cambio flexible y la libre movilidad de capitales, es posible ampliar el modelo de las 3 ecuaciones incorporando el comportamiento de la inflación ante variaciones del tipo de cambio real y la paridad entre el interés doméstico e internacional (Carlin y Soskice, 2015).

Existen varias vías de transmisión de la variación del tipo de cambio sobre la inflación, ya sea directamente a través de los precios de bienes e insumos importados, o indirectamente por la presión que ejerce la balanza comercial sobre la demanda agregada y las posiciones de los activos financieros. El tipo de cambio es un factor que no puede modificar directamente el BC, pero si se ve afectado por la paridad de intereses. Al modificar la tasa de interés local el banco central hace más o menos rentable los activos domésticos y provoca arbitraje con la moneda local, esto resulta en la variación de la oferta de moneda extranjera.

El objetivo del presente trabajo no es explicar el modelo de las tres ecuaciones, sin embargo, se hará una revisión general de los principios teóricos del modelo AD-ERU para establecer el funcionamiento en una economía abierta (gráfica 2).

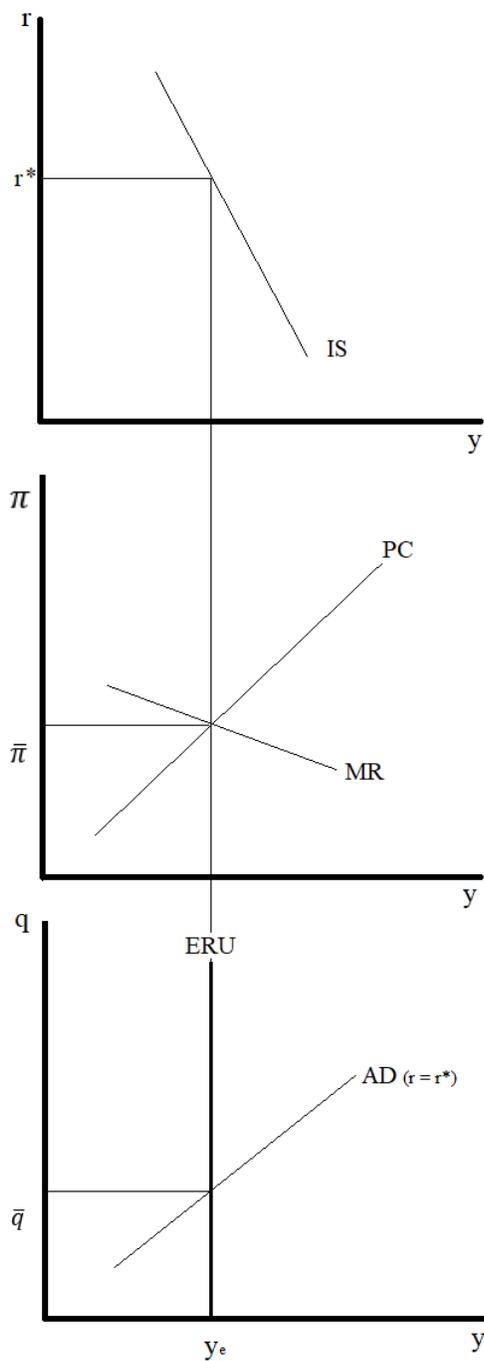
La curva de la demanda agregada (AD) incorpora los efectos del tipo de cambio y la paridad de intereses<sup>11</sup> entre la tasa de interés local ( $r$ ) y externa ( $r^*$ ). Una economía abierta no solo produce y consume bienes locales, también importa y exporta mercancías. Parte de los ingresos de las exportaciones se utilizará en las importaciones, por lo que la curva IS será más empinada debido a un multiplicador menor. Una depreciación o apreciación del tipo de cambio real ( $q$ ) moverá la curva IS al modificar la balanza comercial. Mientras que, debido a la condición de paridad descubierta de intereses, un aumento/disminución de la tasa de

---

<sup>11</sup> La paridad de la tasa de interés se refiere al impacto de los cambios en la tasa de interés local ( $r$ ) sobre el tipo de cambio. Esto significa que un aumento en la tasa de interés local conducirá a una apreciación del tipo de cambio, porque si la tasa de interés externa y el tipo de cambio permanecen iguales, los activos domésticos serán más rentables. Al arbitrar con los activos se modificará la demanda de moneda local y aumentará la oferta de moneda extranjera, de esta manera se produce la apreciación del tipo de cambio.

interés local provocará una apreciación/depreciación del tipo de cambio respectivamente (Carlin y Soskice, 2015). De este modo, la curva AD responde en forma negativa a la tasa de interés y en forma positiva al tipo de cambio real.

Gráfica 2  
Equilibrio en economía abierta



Elaboración propia basada en Carlin y Soskice (2015)

La función ERU representa el conjunto de combinaciones de producto y tipo de cambio real, en los cuales coincide la fijación de salarios reales tanto en la función WS (trabajadores), como en la función PS (empresarios). Sobre cualquier punto de dicha función la tasa de inflación es constante reflejando el sector de la oferta. Por su lado, sobre la curva AD, el mercado de bienes está en equilibrio y la tasa de interés local es igual a la externa ( $r = r^*$ ).

Estar sobre la función AD implica que el tipo de cambio real es igual al esperado y por ende constante; mientras que estar sobre la función ERU implica que el producto es el de equilibrio y por tanto la tasa de inflación es constante. En el mediano plazo (gráfica 2), la economía se encuentra en la intersección de las funciones AD y ERU. La tasa de interés real es igual a la internacional; el producto es el de equilibrio ( $y^*$ ); el tipo de cambio ( $\bar{q}$ ) y la tasa de inflación es constante ( $\bar{\pi}$ ) (Carlin y Soskice, 2015).

El modelo AD-ERU se incorpora al modelo de las tres ecuaciones para abrir la economía. Suponiendo que la economía se encuentra en equilibrio y se presenta un choque inflacionario, el funcionamiento del modelo sería similar al M3E en economía cerrada, la diferencia es que el BC tomaría en cuenta el efecto que tendría la variación de la tasa de interés en el tipo de cambio y las posibles respuestas de otros Bancos Centrales, en caso de que sea un choque externo por la paridad descubierta de intereses. Una vez analizadas todas las posibilidades, el BC tomaría la decisión de modificar la tasa de interés en una magnitud dada para regresar a la inflación objetivo. El resultado final de las variables en este modelo es una inflación igual a la inicial, un producto igual al inicial y, una tasa de interés y un tipo de cambio real diferentes a los iniciales.

La nueva curva de Phillips descrita en el modelo Nekeynesiano incorpora a la NAIRU como un indicador de exceso de oferta en el mercado de mano de obra, que afecta directamente los precios. Como menciona Wickens (2008:230), en esta curva de Phillips, la NAIRU se incorpora de manera indirecta, pero tiene microfundamentos más explícitos y no depende del desempleo para proporcionar la variable impulsora que vincula la economía real con inflación. Plantea que “la inflación aumentará si la producción está por encima de su nivel de equilibrio, o si el salario real o el margen de ganancia exceden sus niveles de equilibrio”.

La NAIRU representa, entonces, la tasa de desempleo de equilibrio en condiciones de fijación de precios y competencia imperfecta. Esta tasa es correspondiente a la plena

ocupación de los recursos productivos, por tanto, es equivalente al producto potencial. Ante choques de oferta o demanda el producto se aleja de su nivel de equilibrio generando una brecha positiva o negativa, dependiendo del choque. Si el producto disminuye, se perderán empleos, bajará el salario, disminuirá el consumo, y, en consecuencia, bajará la inflación (Carlin y Soskice, 2015).

## Capítulo 2. Revisión de literatura

Samuelson y Solow (1960) acuñaron el término de curva de Phillips (CP) generalizando la relación estadística encontrada por Phillips en 1958 entre la tasa de crecimiento de los salarios nominales y la tasa de desempleo al índice de precios y el desempleo. Dicho concepto fue aceptado como el *trade-off* entre esas variables. Se aceptó, durante al menos dos décadas, que para mantener una inflación baja sería necesario tener niveles altos de desempleo y viceversa, lo que se reflejaba en la pendiente negativa de la curva. Sin embargo, dicho *trade-off* fue fuertemente criticado debido a la debilidad que mostró la evidencia empírica de la curva de Phillips tradicional a lo largo de la década de los sesenta y al surgimiento de la hipótesis de las expectativas adaptativa.

La crítica a la concepción keynesiana que implicaban las curvas IS-LM y la curva de Phillips tradicional tomó fuerza tras el discurso de Friedman (1977) en 1976. Su crítica resucitó la búsqueda de una macroeconomía micro fundamentada, con un mercado laboral clásico que tiende al equilibrio. Durante unos años los teóricos se mostraron renuentes a aceptar que no era posible explotar el *trade off* de una manera sustentable al largo plazo. Sin embargo, la larga tradición del keynesianismo no pudo mitigar los efectos de la inflación de la década de 1970 y los hechos empíricos subsecuentes fortalecieron la visión de que "la única manera de mantener el desempleo por debajo de la tasa natural es mediante una inflación cada vez más acelerada, que siempre mantiene la inflación actual por delante de la inflación anticipada" (Friedman 1977, 227).

Sin embargo, Friedman (1977) dejó abierta la posibilidad de que, en efecto, aunque existieran límites para explotar el *trade off*, existía margen de maniobra entre la relación de la curva de Phillips, aunque fuera al corto plazo. Posibilidad que algunos teóricos decidieron que valía la pena explotar, vieron, dentro de la crítica de Friedman (1977), una limitación a la capacidad de los responsables de la política para explotar una compensación que seguía estando disponible y siendo útil a corto plazo. No como un objetivo para la tasa de desempleo, pero sí como un indicador de la holgura de la economía.

## 2.1 La tasa natural de desempleo y la NAIRU

Friedman (1968) y Phelps (1967) acuñaron el término "tasa natural de desempleo" (TND), argumentando que, al introducir las expectativas en la curva de Phillips, la tasa de inflación esperada sólo podrá predecir la tasa de inflación real si el desempleo se mantiene en su valor de equilibrio o natural. Por tanto, si bien podría existir una compensación inflacionaria de desempleo a corto plazo, esta desaparecería a largo plazo debido a que el desempleo tiende a volver a una "tasa natural" lo que da como resultado una curva de Phillips vertical a largo plazo. De esta manera, los efectos de la política serían transitorios, pero siempre llevarían al mismo resultado, puesto que los agentes notarían tarde o temprano el cambio en los salarios y el nivel de precios, y actuarían en consecuencia. Más tarde, Modigliani y Papademos (1975) concibieron el concepto de NAIRU o NIRU, como la tasa de desempleo consistente con una inflación estable al mediano plazo, tal que, mientras que el desempleo efectivo esté por encima de ella, se puede esperar que la inflación disminuya y viceversa.

Friedman (1968 y 1977) explicó que la tasa natural está determinada por fuerzas económicas reales, y que puede ser modificada a lo largo del tiempo si las mismas cambiaban. Entre estas fuerzas identificó la eficacia del mercado laboral, el alcance de la competencia, las barreras o estímulos para trabajar en diversas ocupaciones y los factores demográficos. Además de factores estructurales como son el salario mínimo, la fuerza de los sindicatos y el grado de concentración de la economía.

Dornbusch *et al* (2009:163) analiza los factores determinantes de la TND en dos grupos: a) los que afectan la duración del empleo como son: la organización del mercado de trabajo, la composición demográfica, la capacidad y deseo de los trabajadores para buscar trabajo; b) los que influyen de la frecuencia del empleo como: la variabilidad de la demanda de trabajo y la tasa a la que entran nuevos trabajadores a la población activa.

Por su parte Ball y Mankiw (2002) encontraron que la NAIRU puede variar en el tiempo por la demografía, la política del gobierno, la apertura comercial, los cambios en la productividad, la composición en la fuerza laboral, el capital humano y las instituciones. Mientras que Logeay y Tober (2004) encuentran que además de las variables ya mencionadas, la NAIRU puede ser afectada por la cuña salarial y los tipos de interés reales a corto plazo.

A pesar de que la TND y la NAIRU suelen ser utilizadas indistintamente en la literatura, Espinoza y Russel (1997) señalan que la tasa natural de desempleo y la NAIRU no corresponden al mismo concepto. La diferencia radica, según los autores, en que la tasa natural es aquella que es compatible con un equilibrio walrasiano, en el cual los precios son flexibles, y la NAIRU refiere a un equilibrio en el mercado laboral sin vaciamiento y con precios rígidos. (Turner *et al.* 2001:174; Carlin y Soskice, 2015:561; Friedman, 1968:9-11; Stiglitz, 1997:6).

Por otro lado, una diferencia importante radica en el horizonte del tiempo al que se refieren, por lo mismo la definición de cada una cambia. Turner *et al* (2001) hace una distinción en la definición entre la NAIRU a mediano y corto plazo de la TND. Mientras que la primera es la tasa a la que converge el desempleo en ausencia de influencias temporales de oferta a mediano plazo, la segunda es la tasa de desempleo coherente con la estabilización de la inflación en su nivel actual al siguiente periodo, a corto plazo. Esto hace que la primera sea más estable que la segunda. La TND corresponde a un estado estacionario una vez que la NAIRU se ha ajustado plenamente a todas las influencias de la oferta y de la política económica a largo plazo.

Como se mencionó anteriormente, la hipótesis de la NAIRU ha sido explotada durante las últimas décadas, sin embargo, a partir de la década de los noventa el concepto fue fuertemente criticado. Según Galbraith (1997), el caso teórico de la tasa natural de desempleo no es convincente ya que la evidencia empírica ha mostrado tasas de desempleo por debajo de la NAIRU por periodos prolongados sin acelerar la inflación. Además, de acuerdo con su crítica, el hecho de que no haya un método universalmente aceptado para la estimación de esta variable indica que no tiene una utilidad práctica. Finalmente, considera que una política monetaria que persiga una NAIRU y la utilice como único indicador para la inflación es una política que puede incurrir en más costos que beneficios, incluso opina que da lo mismo usar la variable o no usarla, pues la considera poco fiable.

Por otro lado, Espinoza y Russel (1997) consideran que debido a la dificultad de la política monetaria para distinguir los cambios temporales en la inflación de los permanentes; si se toman decisiones basadas en las variaciones salariales o de tasa de desempleo, se podría caer en el error de resistirse a los cambios que se asocian con aumentos permanentes (o

persistentes) del precio relativo de la mano de obra, impidiendo que los insumos y los productos se sigan utilizando y produciendo de manera eficiente.

Sin embargo, autores como Turner *et al.*, (2001) sostienen que, ya que la NAIRU corresponde teóricamente a la tasa de desempleo de equilibrio compatible con el producto potencial a mediano plazo, puede proporcionar un punto de referencia para políticas futuras que serían sostenibles y que tienen implicaciones inmediatas en la economía. Apunta además, que vale la pena usarla como un indicador, entre otras variables, en la lectura de las presiones inflacionarias y el ciclo económico.

Tobin (1980:64), por su parte, argumenta que la aceptación de la NAIRU ayudó en la rehabilitación de la curva de Phillips como guía de política monetaria para el corto plazo, pues incorporó las expectativas de inflación y la brecha de desempleo; además, “según la visión estándar de la ‘curva de Phillips aumentada’, la inflación depende de sus tendencias recientes, de las expectativas de sus movimientos futuros, y en parte, de un mercado de trabajo apretado que impulsa los salarios y fuerza a las empresas a responder elevando precios”.

En este sentido, en la actualidad la NAIRU se ha vuelto un insumo indispensable para construir herramientas de análisis, además de la curva de Phillips, como la tasa de sacrificio, la ley de Okun y el producto potencial. Carstens y Reynoso (1997) señalan que la NAIRU se ha convertido en un indicador fiable para los analistas y los hacedores de política a la hora de emitir un juicio sobre el eventual sobrecalentamiento de la economía. Además, al aceptar la hipótesis aceleracionista que implica la NAIRU, la atención se ha volcado en medir la relación entre la tasa de aceleración de los precios y la tasa de desempleo, así como determinar la trayectoria de la NAIRU en el tiempo.

En este sentido, King *et al.* (1995:3) encontraron que “si bien puede haber una variación de la NAIRU en el tiempo, es muy difícil estimar con precisión la extensión de esta variación en tiempo y nivel en cualquier momento”. Es por eso las estimaciones suelen darse en un rango y no como un número puntual.

Logeay y Tober (2004:1) aseguran que aplicar la técnica del filtro de Kalman con variables exógenas explícitas permite cuantificar el efecto de los cambios en estas variables en la

NAIRU y por tanto es posible identificar la variable que tendría mayor impacto en la misma permitiendo tener en cuenta las propiedades de las series temporales de las variables analizadas sin recurrir a algún tipo de promedios arbitrarios a largo plazo para determinar su efecto sobre el desempleo.

## 2.2 Estudios sobre el cálculo de la NAIRU

Boone (2000) y Turner *et al.* (2001) señalan que en la literatura suelen usarse tres enfoques para estimar variables no observables, como la NAIRU: en el primer grupo están los métodos estructurales, que implican modelar el comportamiento agregado de las variables basados en un modelo económico; en el segundo grupo se encuentran los métodos estadísticos o de filtrado que aplican procedimientos estadísticos a la variable real para dividirla directamente en sus componentes cíclicos y de tendencia; finalmente, en el tercer enfoque, están los métodos que combinan los dos enfoques anteriores, pues usan la teoría para modelar el comportamiento de las variables, pero también se basan en técnicas estadísticas para imponer ciertas restricciones de identificación en el camino de la variable estimada.

Turner *et al.* (2001) revisan una variedad de métodos empíricos utilizados en una serie de estudios existentes, entre ellos el filtro de Kalman, para obtener la tasa de desempleo que no genera inflación para 21 países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). Ellos explican que la elección de una metodología u otra debe tener en cuenta las características de cada país. Su trabajo forma parte de un esfuerzo por revisar, mejorar y actualizar los procedimientos que usa la OCDE para obtener estimaciones de las tasas de desempleo consistentes con una inflación estable.

Además, los autores argumentan que los métodos estructurales no son los favoritos para estimar variables como la NAIRU, debido a que, a pesar de presentar un marco teórico sólido, que representa el comportamiento de las variables ante choques o que explique el impacto de las políticas, presentan varias dificultades a la hora de ser estimados. Los mayores problemas de este enfoque según Turner *et al.* (2001:179) son: en primer lugar, hay un considerable desacuerdo en la perspectiva teórica y empírica para decidir qué modelo debe usarse; en segundo lugar, no hay un consenso sólido sobre la correcta especificación de los modelos elegidos, en especial cuáles y cuántas variables; finalmente, existe una dificultad considerable para cuantificar muchas de las variables institucionales relevantes, así como

identificar dichas variables estadísticamente. Dichos problemas generan que las estimaciones obtenidas sean, usualmente, imprecisas.

En cuanto al enfoque estadístico, Turner *et al.* (2001:178) señalan que, si bien estos métodos permiten obtener una NAIRU oportuna, su problema básico “es que dependen de suposiciones arbitrarias y, a veces, inverosímiles para hacer esta descomposición. Tales suposiciones generalmente se relacionan con la forma en que se estima la tendencia, su varianza y relación con el componente cíclico”, por lo que pueden no estar correlacionados con la inflación, son difíciles de extrapolar a corto plazo, son menos confiables al final del periodo, la mayoría de ellos se comportan como promedios móviles por lo que se ven sesgados en caso de cambios drásticos en la serie, y no hay forma de juzgar la precisión de los resultados.

Finalmente, los métodos que unen ambos enfoques han sido los más populares para obtener variables no observadas, como la NAIRU. La gran ventaja que tienen es que unen las bondades de ambos enfoques: por un lado, sustentan el modelo en una base teórica garantizando que los resultados estén relacionados con la definición de las variables, y por el otro, garantizan mejores resultados al combinarse con técnicas estadísticas.

Turner *et al.* (2001) argumentan que definir mejor la NAIRU y su comportamiento, así como robustecer la relación de la curva de Phillips al fortalecer el vínculo entre el desempleo y la inflación, dan como resultado estimaciones mejores y más sofisticadas. En esta línea, Cusbert (2017) señala que los modelos que permiten que esta variable varíe a lo largo del tiempo tienen un mayor poder de predicción para el desarrollo de la inflación y la producción.

En la última categoría se encuentran los estudios pioneros de: King *et al.* (1995), Gordon (1997), Laubach (2001), Turner *et al.* (2001), Ball y Mankiw (2002) y Dickens (2008), entre otros.

King *et al.* (1995) obtienen diferentes NAIRU a través de variaciones de un modelo VAR, estiman los parámetros a través de máxima verosimilitud y también usan un filtro de Kalman computando la varianza siguiendo el artículo de Hamilton (1994) “Un error estándar para el vector de estado estimado de un modelo de estado-espacio”. Encontraron que las estimaciones de la NAIRU fueron muy imprecisas, lo que concuerda con la teoría de que la

inflación futura se predice mejor por los cambios en la tasa de desempleo que por el tamaño de la brecha de desempleo.

Gordon (1997) desarrolla el modelo del triángulo, el cual se basa en una curva de Phillips cuyos determinantes son la inercia, la demanda y la oferta. Utiliza el filtro de Kalman para estimar una curva de Phillips modelada como un estado-espacio, tratando a la NAIRU como una caminata aleatoria. El modelo que usa Gordon (1997) restringe la desviación estándar de término de error en  $\sigma_e = 0.2$  y  $\sigma_e = 0.4$ , siendo la primera la preferida, y advierte la dificultad de elegir el valor adecuado dado que una genera un resultado más suave que la otra y evita los saltos o “zigzags”.

Laubach (2001) por su parte, utiliza varias especificaciones de modelos de estado-espacio para obtener estimaciones de la NAIRU para el G7 y muestra que una regresión tipo curva de Phillips ofrece estimaciones que no imitan movimientos de baja frecuencia en la tasa de desempleo, incluso cuando se incluye la primera derivada en la especificación de la ecuación de estado. Los errores estándar en torno sus estimaciones son muy grandes, sin embargo, el uso de información sobre el comportamiento del desempleo, además de la inflación, soluciona estos dos defectos.

Ball y Mankiw (2002) parten de una representación moderna de la curva de Phillips, y descomponen la tasa de desempleo en sus partes de ciclo y tendencia mediante la aplicación de un filtro univariado obteniendo una NAIRU fija y un componente variante en el tiempo.

Dickens (2008) estima la NAIRU a partir de una modelo que combina la curva de Phillips y la curva de Beveridge, la relación entre el desempleo y las vacantes, obteniendo una variable más robusta a través del filtro de Kalman.

Los métodos que usan filtros multivariados, como el filtro de Kalman, han tomado popularidad, en especial porque estos métodos tienen tres ventajas: primero, por construcción, proporcionan estimaciones de la NAIRU directamente relacionadas con la inflación. En segundo lugar, una curva de Phillips en la cual se especifiquen todos sus componentes permite la distinción entre NAIRU y los conceptos a corto plazo dentro del mismo marco. Finalmente, dichos indicadores pueden obtenerse fácilmente de manera oportuna y consistente en cualquier país. Sin embargo, presentan algunos inconvenientes: al

basarse en una ecuación de forma reducida, las relaciones estructurales subyacentes no se identifican, dificultando extrapolar la NAIRU. La relación entre inflación y desempleo a lo largo del tiempo también debe ser estable y bien especificada, pues los resultados dependerán de su especificación (Turner *et al.*, 2001).

A pesar de sus limitaciones, Turner *et al.* (2001) concluyen que los métodos de filtrado multivariado, dentro de un marco de curva de Phillips de forma reducida, proporcionan mejores estimaciones de la NAIRU. Ellos resaltan que entre los métodos de filtrado multivariado el filtro de Kalman permite la estimación simultánea de la NAIRU y la curva de Phillips y proporciona una medida de la incertidumbre estadística que la rodea, dando como resultado “una NAIRU variante en el tiempo, derivada de su capacidad para explicar la evolución inflacionaria y sujeta a varias restricciones en su evolución, que se obtiene sin requerir que todos los factores que la afectan se especifiquen explícitamente” (Turner *et al.* 2001:180).

En esa línea, Greenslade *et al.* (2003) señalan que el cálculo de la NAIRU a través del filtro de Kalman la estimación conjunta garantiza la mejor estimación de la misma. Entre los trabajos que utilizan dicha técnica, además de los ya mencionados, se encuentran los de Staiger *et al.* (1997), Boone (2000), Apel y Jansson (1999) y Rasi y Viikari (1998), Logeay y Tober (2004).

No obstante, el interés de los bancos centrales en contar con elementos que les permitan obtener una visión más completa del proceso inflacionario, así como el creciente número de estudios empíricos que calculan la NAIRU para otros países, para el caso de la economía mexicana, los trabajos al respecto son escasos y poco recientes.

En la tabla 1 se resumen los trabajos encontrados y sus resultados. Los artículos mencionados utilizan diversas metodologías, entre las principales se encuentran las de Staiger *et al.* (1997) y Ball y Mankiw (2002); sin embargo, cabe destacar que, aunque Banco de México (2016) utiliza la metodología de Gordon (1967), incorpora el resultado a un promedio de otras metodologías, y sólo con Acevedo (2008) es posible revisar el filtro de Kalman para obtener la NAIRU, aunque no sea el objetivo de su investigación.

**Tabla 1:**  
**Trabajos empíricos del Cálculo de la NAIRU en México, diferentes periodos**

<b>Autor (es)</b>	<b>Periodo</b>	<b>Metodología</b>	<b>Resultados</b>
Rodríguez <i>et al.</i> (2004)	1987m1-2003m1	Mínimos Cuadrados Ordinarios	Obtuvieron grandes divergencias entre la NAIRU calculada y la tasa de desempleo observada. Las divergencias van desde 12.50% hasta 2.97% al final del periodo, pero tienden a desaparecer a lo largo del periodo.
Loría <i>et al.</i> (2008)	1980-2007	Metodología de Ball y Mankiw (2002) y uso de MCO.	Obtienen una NAIRU constante de 3.25% y una variante decreciente con una media aritmética de 3.8%.
Acevedo (2008)	1980Q1-2007Q4	Gordon (1996) Filtro de Kalman	Encuentra que entre 1980Q1 y 2008Q4 la NAIRU disminuyó de 6.5% a 4.9% de la PEA.
Varela y Torres (2009)	1985m1-2005m4	Staiger <i>et al.</i> (1997) Ball y Mankiw (2002) Vectores autorregresivos (svar)	Ellos obtienen una NAIRU constante alrededor de 4%, y NAIRU variable entre 2-13% dependiendo de la metodología.
Banco de México (2016)	2003Q1-2017Q1	Staiger <i>et al.</i> (1997) Laubach (2001) Gordon (1997): Caminata aleatoria y Ley de Okun	Calculan un promedio para la NAIRU. Los resultados muestran una ligera tendencia creciente y se estabilizan para ubicarse alrededor de 4.45% de la Población Económicamente Activa (PEA) en 2017Q1. Realizan una estimación alternativa en la que incorporan una medición del empleo informal y obtienen una NAIRU alrededor de 26.7%
Loría <i>et al.</i> (2019).	2002Q1-2018Q2	Metodología de Ball y Mankiw (2002), Método Generalizado de Momentos	Encuentran una NAIRU variable en el tiempo creciente de 3.07% a 4.89%; (2002Q1-2012Q1) y, decreciente de 4.88% a 3.42% (2012Q3-2018Q2).

Fuente: elaboración propia

Acevedo (2008) utiliza el nivel potencial del empleo<sup>12</sup> para evaluar la función de producción y obtener el nivel del producto potencial. Para obtener la NAIRU utiliza el modelo del triángulo de Gordon (1967), e incorpora como choque de oferta la diferencia del log del tipo de cambio real como proxy de la variación en los términos de intercambio. Además, utiliza un modelo de MCO para obtener las condiciones iniciales del modelo de estado-espacio, y supone una desviación estándar igual a 0.2.

Acevedo (2008) obtiene una curva de Phillips de pendiente negativa, con un coeficiente de la brecha de desempleo igual a -4.74 y encuentra que entre 1980Q1 y 2007Q4 la NAIRU disminuyó de 6.5 a 4.9% de la PEA. Sus resultados concuerdan a los obtenidos por Loría *et al.* (2008) en cuanto a que la NAIRU ha sufrido movimientos significativos de 1980 a 2007, disminuyendo al menos 2 puntos porcentuales; sin embargo, los resultados de Acevedo (2008) muestran un mayor dinamismo de la NAIRU, lo que puede significar una variable mucho más sensible ante choques de la estructura microeconómica.

Otra diferencia importante es que el modelo que presenta de Acevedo (2008) concuerda con la hipótesis aceleracionista de la curva de Phillips, pero la magnitud del coeficiente que obtiene para la brecha de desempleo es mayor a la unidad, a diferencia del trabajo de Loría *et al.* (2008) para un periodo similar. La razón de esta diferencia puede deberse a los supuestos implícitos de cada metodología, y puntos clave en su implementación. En este caso, el filtro de Kalman depende en gran medida de la elección de las varianzas de los errores de ambas ecuaciones y en consecuencia de la importancia dada al poder explicativo de la NAIRU en la evolución de la inflación.

---

<sup>12</sup> El empleo potencial lo calcula como  $L^*=PEA(1-NAIRU)$

## Capítulo 3. Hechos estilizados

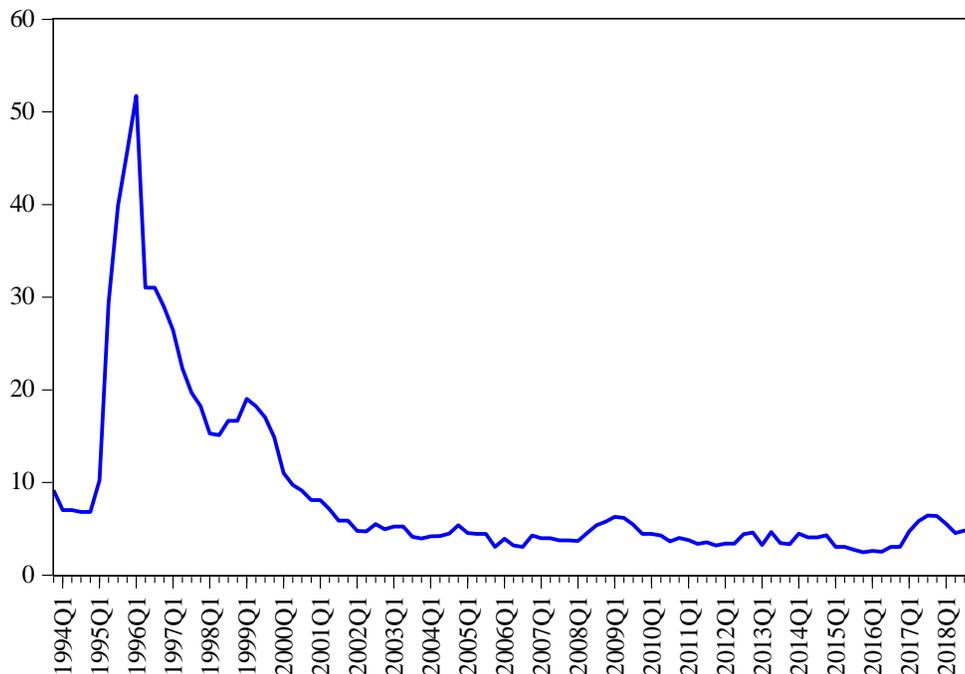
En este capítulo se analiza el comportamiento de las variables utilizadas en el modelo estimado. Es necesario reconocer la relación que tienen con la inflación y la NAIRU, y su comportamiento en el periodo estudiado para poder hacer un análisis más completo de los resultados obtenidos.

En esta investigación se usaron series trimestrales producidas por el INEGI (2019), la Federal Reserve Economic Data of St. Louis (2020), y Banco de México (2020). Todas ellas fueron corregidas por estacionalidad.

### 3.1 Evolución de la inflación

En la gráfica 1 se muestra la evolución de la inflación trimestral interanual de 1994Q1 a 2018Q4. En general de la inflación mostró una fuerte aceleración, seguida por una desinflación y posterior estabilización.

Gráfica 3  
Inflación trimestral anualizada,  
México 1994Q1-2018Q4



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2020)

Un aspecto crucial en la estabilización de la variable fue que a partir de 2001 Banco de México adoptó un programa de objetivos de inflación (véase Programa de Política Monetaria para 2001). El comportamiento de la inflación puede dividirse en dos subperiodos: el primero de 1994Q1 a 2001Q4 y el segundo de 2002Q1 a 2018Q4.

Un rasgo distintivo de la economía mundial de 1980 a 1999 fue la inflación persistentemente al alza, acompañada por varias desinflaciones derivadas de diversos programas de ajuste. En el caso de México, el país venía arrastrando fuertes presiones inflacionarias acompañados de un débil crecimiento desde la década de los setenta, Banco de México (1981) argumenta que la devaluación del peso de alrededor de 45%, y el incremento en la carga financiera por el servicio de la deuda contratada con anterioridad, así como la fuerte desconfianza del sector privado derivada del choque con el gobierno, afectaron gravemente la evolución de la economía. Para el primer trimestre de 1994 la inflación había sufrido una fuerte desinflación pasando de 159,17 % a 7.05 %.

De 1994 al año 2002 se experimentaron 2 repuntes inflacionarios con picos en 1996Q1 1999Q1. Hubo dos factores recurrentes que incidieron en ambos casos: la variación en el precio del petróleo y del tipo de cambio.

Banco de México (1996) reportó en su informe anual de 1995 que el ajuste del tipo de cambio a finales de 1994, la depreciación acumulada de la moneda nacional y el aumento en el precio del petróleo incidieron fuertemente en el aumento de la inflación. Mientras que para 1998, Banco de México (1999) identificó como principales causas la pronunciada caída del precio del petróleo, el deterioro de los términos de intercambio, un menor crecimiento en el mundo, una fuerte contracción de los flujos de capital del exterior, así como el comportamiento inesperado de: el tipo de cambio; los salarios; los precios de las frutas y legumbres; y los precios administrados por el sector público.

De 1996 al año 2002 se observó una gran desinflación, esta tendencia decreciente se explica en mayor medida por la implementación de políticas estabilizadoras que tenían como principal eje el control de la inflación. Tales políticas se enfocaron en el saneamiento de las finanzas públicas por parte del gobierno, la adopción del régimen de saldos acumulados, la limitación del crédito interno neto, así como la fijación meta una tasa de inflación anual que

no excediera de 10 por ciento por parte de la política monetaria (Véase los Informes anuales de Banco de México 1996 y 1998).<sup>13</sup>

Del año 2002 en adelante la inflación se caracterizó por un comportamiento más o menos estable derivado de cambios importantes en la política monetaria del país. La inflación mostró una tendencia al alza de 2006 a 2009 y una posterior desinflación de 2009 a 2011. Banco de México (2009) reporta que el repunte en la inflación es explicado principalmente por factores externos, en particular los aumentos significativos en los precios de las materias primas, una fuerte depreciación cambiaria y la disminución de los flujos de capital externo. Mientras que, según Banco de México (2009) la posterior disminución en la inflación se debió principalmente al aumento en la tasa de interés de referencia de 7.50 por ciento a 8.25 por ciento, la disminución en la actividad económica debido a los efectos de la crisis, el brote de Influenza tipo A (H1N1) en 2009, así como la persistencia en las condiciones de holgura en la economía.

La inflación se mostró relativamente estable de 2011 a 2015 y tuvo su tasa más baja en 2015Q4, esto se debió principalmente a la disminución de la actividad económica del país y posterior recuperación, lo que hizo que la demanda se mantuviera estable y las expectativas inflacionarias disminuyeran.

Finalmente mostró una tendencia al alza de 2015Q4 a 2017Q3 con una posterior disminución en el transcurso del año 2018; sin embargo, no regresó al objetivo de inflación del Banco Central. Banco de México (2018) identificó que el repunte inflacionario se debió principalmente a: a) al incremento en el precio de los productos agrícolas, así como el llamado “gasolinazo” originado por la liberación de los precios de las gasolinas a lo largo de 2017; b) la incertidumbre relacionada al proceso de normalización de la postura monetaria en Estados Unidos, así como el proceso electoral, su resultado y el futuro de la relación bilateral con el país vecino; y c) la depreciación del tipo de cambio.

---

<sup>13</sup> Además de la política, se identifican factores a) la evolución del tipo de cambio a lo largo de 1996 y 1999-2000; b) la evolución de las remuneraciones a la mano de obra (sueldos, salarios y prestaciones) y c) el comportamiento favorable de algunos componentes de la canasta básica. (Banco de México, 1997 y Banco de México, 2000)

A pesar de que la inflación ha disminuido en el transcurso del último año esta no regresó al objetivo de 3% (+/- 1%) de Banco de México. Banco de México (2019a) identifica que este comportamiento se debe al deterioro de las expectativas inflacionarias, la evolución del tipo de cambio y los salarios reales y así como a la disminución de las condiciones de holgura de la economía.

Como se puede ver, en general las principales presiones inflacionarias descritas tuvieron origen en la oferta, tanto interna como externa. Sin embargo, un rápido aumento de la demanda y la influencia de las expectativas de los agentes tuvieron un papel crucial.

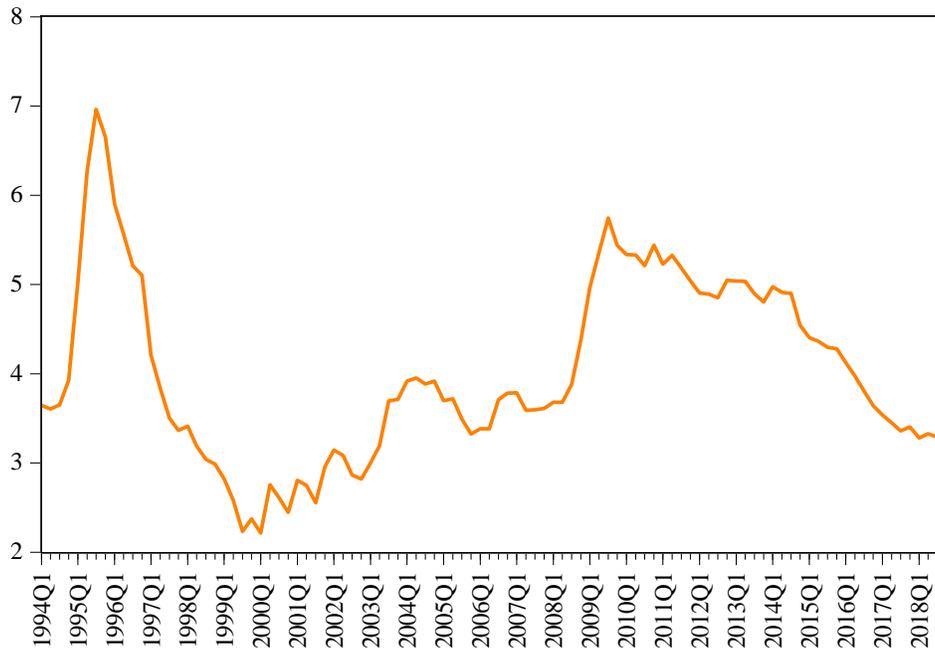
El rápido aumento en la demanda sin un aumento a la par de la oferta crea presiones inflacionarias, sobre todo si la capacidad productiva es fija al corto plazo. Antes de cada episodio inflacionario la economía se encontraba en expansión, la demanda estaba en aumento, el desempleo disminuía y hubo un rápido crecimiento de la deuda pública. Después de cada episodio la caída del consumo y la demanda menguó la oferta y el empleo, disminuyendo la inflación.

### 3.2 Evolución del desempleo

La gráfica 2 muestra la tasa de desempleo trimestral de 1994Q1 a 2018Q4. La tasa de desempleo se ha conducido entre 6% y 3% a lo largo de toda la muestra, además es posible notar que antes de casi todos los episodios en los que la inflación se aceleró, el desempleo estaba en una tasa muy baja. La tasa más baja la tenemos en 1999 con 2.2% de la población económicamente activa (PEA) y la más alta en 1999 con 6.96% de la PEA.

El comportamiento del desempleo ha respondido a la actividad económica del país, cuando la economía se encuentra en expansión, el desempleo disminuye en respuesta al aumento de la producción para hacer frente al incremento en la demanda. Cuando la economía comienza a estancarse y posteriormente entra en recesión, la disminución en la actividad económica hace que el desempleo aumente. Se puede notar una relación entre el fin de las crisis y el aumento en el desempleo en toda la serie.

Gráfica 4  
Tasa de desempleo, trimestre  
México 1994Q1 - 2018Q4



Fuente: Elaboración propia con datos de la Federal Reserve Economic Data (2020)

Es posible observar que la tendencia de la tasa de desempleo fue fuertemente creciente entre 1994Q4 y 1995Q3, cuando pasó de 3.93% a 6.96% (su mayor pico) este periodo coincide con la crisis de 1994 en el que el Producto interno bruto tuvo su mayor caída del periodo (alrededor de -6%). Posteriormente tuvo una tendencia decreciente de 1995Q3 a 1999Q4, esto coincide con la recuperación de la crisis de 1994 y expansión de la economía precrisis de 1998.

De 1999Q3 hasta 2009Q4 la tasa de desempleo mantuvo una tendencia creciente en la que pasó de 2.23% a 5.75% de la PEA, este periodo coincidió con 2 crisis, la primera fue la crisis Punto Com, de 2001, y la segunda fue la *Crisis Suprime o Gran Recesión* de 2008. En este periodo el desempleo mostró persistencia.

Finalmente, de 2009Q4 a 2018Q4 la tasa de desempleo ha mantenido una tendencia decreciente debido a la recuperación de la crisis. Fue hasta 2016Q3 que la tasa de desempleo regreso al nivel precrisis, lo que puede indicar que la Gran Recesión tuvo efectos en la economía.

En un principio, la recuperación económica de la *Gran Recesión* se debió a que el gobierno mexicano utilizó una política anticíclica para contrarrestar los efectos de la crisis, aplicó una política fiscal expansiva, que combinó la reducción de impuestos con incrementos en el gasto público. Además, Banco de México utilizó una política monetaria expansiva reduciendo drásticamente su tasa de interés.

## Capítulo 4. Aspectos econométricos

En este capítulo se presentan los aspectos econométricos detrás del cálculo de la NAIRU a través del filtro de Kalman y la metodología de estado-espacio que tiene su origen en la ingeniería (Véase: Kalman, 1960; Kalman y Bucy, 1961; Maybeck, 1979; Harvey, 1989; Hamilton, 1994 y Harvey, Koopman y Shephard, 2004).

En vista de que la formulación del filtro de Kalman fue concebida para el modelo de estado-espacio, es necesario definir qué es el estado-espacio, los conceptos básicos y cómo funciona para entender el algoritmo del filtro.

### 4.1 Modelos Estado-Espacio

Dado un sistema físico, un ingeniero intenta establecer un modelo matemático que represente algunos aspectos del comportamiento de ese sistema, usualmente se ayuda de leyes fundamentales o conocimientos previos sobre las relaciones entre ciertas variables, sus impulsos y reacciones. Dicho modelo matemático proporciona la materia prima para la teoría del control<sup>14</sup> y sus herramientas (véase Maybeck, 1979).

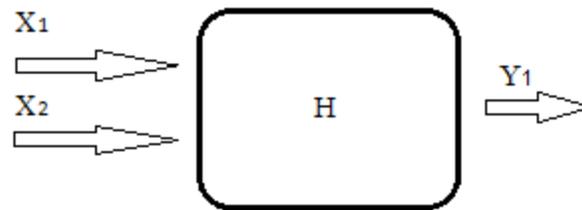
Rowell (2002) explica que la teoría y métodos de control moderno de la ingeniería se basan en la descripción dinámica entre la entrada ( $X$ ) y salida ( $Y$ ) de un sistema ( $H$ ) contenido en un espacio de  $n$  dimensiones, figura 1. Dicha descripción puede representarse como un modelo matemático formado por un sistema de ecuaciones que representan la dinámica entre las variables internas, conocidas como variables de estado, junto con un conjunto de ecuaciones algebraicas que combinan las variables de estado con variables de salida que pueden ser físicas u observables.

En otras palabras, el modelo de estado-espacio trabaja bajo el supuesto de que un sistema que se encuentra en movimiento, y que de manera constante recibe y genera información, puede ser descrito a través de un sistema de ecuaciones que representan su comportamiento o su estado; dentro de este sistema de ecuaciones se encuentran variables de estado que determinarán el comportamiento o el estado del sistema en cualquier momento del tiempo.

---

<sup>14</sup> Dicha teoría podría semejarse al control óptimo en la economía, sin embargo, no tienen el mismo objetivo. La primera se enfoca principalmente en guiar el comportamiento del sistema hacia uno deseado, no necesariamente de equilibrio, mientras que la segunda se refiere a un estado de equilibrio óptimo.

Figura 1 : Representación simbólica de un sistema



Fuente: elaboración propia.

Diversos problemas en la ingeniería, física, biología, ciencias sociales y economía pueden interpretarse como modelos representados por estados. Las descripciones de variables de estado de los sistemas pueden formularse en términos de variables físicas y medibles o en términos de variables que no son directamente medibles.

En la ingeniería, la notación de estado-espacio suele usarse en una gran diversidad de problemas en los que intervienen variables observadas y medibles, y variables no observables, por ejemplo, el funcionamiento de la transferencia de agua en dos tanques en cascada y la posición de un misil en un radar. En el caso de la física, un ejemplo del uso de variables de estado son las variables termodinámicas: la masa, el volumen, la presión y la temperatura; mientras que, ejemplos de funciones de estado pueden ser la energía interna y la entropía. Sucede algo similar con un sistema biológico, los sistemas biológicos contienen varios subsistemas que reaccionan (salidas) ante estímulos (entradas), que pueden ser medidos y analizados. Ejemplos de variables de estado, que al ser estimuladas se obtiene una reacción en el sistema, pueden ser la temperatura o la presión sanguínea.

Harvey (1989) señala que el modelado en estado-espacio constituye una de las posibles formulaciones matemáticas generales para un sistema estocástico. Apunta que presenta características que lo hacen apropiado para su utilización en econometría, pues permite la predicción, suavizado y extracción de variables no observadas a través de la estimación conjunta del sistema y de las variables de estado.

Dicha afirmación confirma su utilidad para la economía, para la predicción, suavizado y extracción de variables no observables a través de algoritmos matemáticos como el filtro de

Kalman, el cual permite que variables no observadas se incorporen y estimen junto con el modelo observable.

De acuerdo con Hamilton (1994) y Harvey (1989) los modelos en estado-espacio se han aplicado en econometría para modelar variables no observadas como las expectativas, errores de medición, observaciones faltantes, ingresos permanentes, la tasa de desempleo que no acelera la inflación y el producto potencial, además de componentes como el ciclo y la tendencia. Una amplia gama de modelos de series de tiempo, incluidos el modelo de regresión lineal clásico y los modelos ARIMA se pueden escribir y estimar como casos especiales de una especificación de espacio de estado.

Guevara (2016) menciona que los métodos de control aplicados a los sistemas dinámicos buscan corregir o suprimir irregularidades producidas por el comportamiento no lineal de los parámetros del sistema, haciendo leves modificaciones en algún parámetro para conducir el sistema a una trayectoria deseada. Esto es de gran importancia debido a que dichos fundamentos pueden ser aplicados a la economía y, en específico, a la política monetaria.

Un sistema dinámico es un sistema cuyo estado cambia en función a una variable independiente, generalmente el tiempo. Dicho sistema estará compuesto por vectores de estado y vectores de parámetros, los primeros caracterizarán el estado del sistema y los segundos especifican el grado de interacción entre el sistema y su ambiente. Los parámetros o variables de entrada son observables y pueden ser usados para modificar el comportamiento del sistema y obtener una respuesta deseada (véase Guevara, 2016).

La forma general del estado-espacio se aplica a un problema multivariable,  $y_t$ , que contiene  $N$  elementos. Las variables observables están relacionadas con un vector  $m \times 1$ , conocido como vector de estado, a través de una ecuación de medición, medida o señal (1) que especifica el comportamiento del proceso:

$$(1) \quad y_t = ZX_t + d_t + \varepsilon_t, \quad t = 1, \dots, T$$

Donde  $y_t$  son las señales u observaciones del proceso derivadas del vector de estado interno y forman un escalar,  $Z$  es una matriz de  $N \times m$  que relaciona los vectores de estado ( $X$ )<sup>15</sup> con

---

<sup>15</sup> Harvey (1989) usa  $\alpha$  en vez de  $X$  para definir el vector de estado.

las señales u observaciones,  $d_t$  es un vector de  $N \times 1$  y  $\varepsilon_t$  es el término de error, el cual se asume independiente y normalmente distribuido con media cero y matriz de covarianza  $H$ , (Harvey, 1989).

La ecuación de transición o estado (2) describe el comportamiento de las variables de estado que generalmente son elementos no observables:

$$(2) \quad X_t = T\alpha_{t-1} + c_t + R\eta_t, \quad t = 1, \dots, T$$

Donde  $\alpha_t$  es un vector de  $m \times 1$  y representa el vector de estado que debe contener la información más relevante del sistema en cada momento del tiempo. En general los elementos del vector de estado no son observables.  $T$  es una matriz dinámica de  $m \times m$  que representa la matriz de transición del vector de estado,  $R$  una matriz de entrada de  $m \times g$  y  $\eta_t$  un vector de innovaciones de  $g \times 1$  que se asume independiente y normalmente distribuido (Harvey, 1989).

Ambas perturbaciones se asumen mutuamente independientes y normalmente distribuidas:

$$\begin{pmatrix} \eta_t \\ \varepsilon_t \end{pmatrix} \sim N(0, \text{diag}(Q, H))$$

$$E(\alpha_0 \varepsilon_t) = 0_{m \times 1}; E(\alpha_0 \eta_t) = 0_{m \times g}$$

Donde  $Q = \sigma_\eta^2$  de  $g \times g$  y  $H = \sigma_\varepsilon^2$  de  $n \times n$  (Harvey, 1989).

La especificación del sistema de estado-espacio se completa con dos suposiciones adicionales (Harvey, 1989):

- a) El vector de estado inicial ( $a$ ) tiene una matriz de media  $a_0$  y covarianza  $P_0$ .
- b) las perturbaciones  $\varepsilon_t$  y  $\eta_t$  no están correlacionadas entre sí en todos los períodos de tiempo y no están correlacionadas con el estado inicial  $a$ .

Una vez descrita la notación de estado-espacio es posible describir el funcionamiento del filtro de Kalman y su importancia como técnica estadística para la economía y en específico para este trabajo.

## 4.2 Filtro de Kalman

Dentro de la diversidad de métodos estadísticos para el análisis y descripción de series de tiempo destacan dos grupos (Contreras, Pino y Pizzinga. 2006:68): “Por un lado se

encuentran los denominados enfoques univariados mecánicos,<sup>16</sup> que imponen una estructura estadística que fuerza una descomposición de la serie en dos elementos, uno de carácter transitorio y otro de comportamiento más permanente o de largo plazo. En segundo lugar, están las metodologías de descomposición multivariadas, que relacionan un conjunto de variables con la variable estudiada a manera de capturar con mayor certeza los componentes permanentes de esta última serie”.<sup>17</sup>

El filtro de Kalman desarrollado por Kalman (1960) y Kalman y Bucy (1961) describe una solución recursiva para el problema del filtrado lineal de datos discretos. Kalman (1960:35) menciona que su algoritmo resuelve tres problemas: 1) Predicción de señales aleatorias o el estado de un sistema; 2) separación de señales aleatorias del ruido aleatorio; 3) detección de señales de forma conocida en presencia de ruido aleatorio. Además, concluye que el filtro: se aplica sin modificaciones a las estadísticas estacionarias y no estacionarias; obtiene los coeficientes de la ecuación de diferencia (o diferencial) del filtro lineal óptimo sin mayor cálculo.

Según Harvey (1989), éste filtro es un algoritmo recursivo para calcular el estimador óptimo<sup>18</sup> del vector de estado en el tiempo  $t$ , basado en la información disponible en el tiempo  $t-1$ . Esta información consiste en las observaciones hasta  $y_t$ , calcula las estimaciones del estado y la matriz de error cuadrático media asociada,  $\{\alpha_{t|t-1}, P_{t|t-1}\}$ , la media y la varianza del estado contemporáneo o filtrado  $\{\alpha_t, P_t\}$ , la predicción, el error de predicción y la varianza del error de predicción  $\{y_{t|t-1}, \varepsilon_{t|t-1}, F_{t|t-1}\}$ .

El filtro es de carácter recursivo y actúa en un círculo de predicción y corrección, primero estima las variables de estado usando su propia dinámica, después mejora dicha estimación usando la información de las variables observadas añadiendo un término de corrección (llamado ganancia de Kalman), una vez que tiene el nuevo estado corregido, dicho estado

---

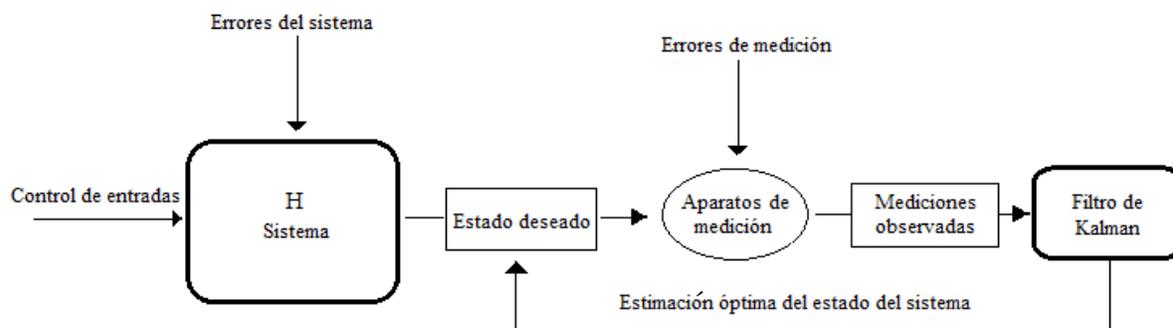
<sup>16</sup> Según Contreras *et al.* (2006), en el primer grupo se puede mencionar el método de tendencia segmentada, los filtros de Hodrick-Presscot (HP), de Baxter-King y de Wavelets, el método de “running media smoothing” y las estimaciones no-paramétricas tipo kernel.

<sup>17</sup> Contreras *et al.* (2006) mencionan la descomposición de Cochrane, el método multivariado de Beveridge-Nelson, los VAR estructurales y la metodología de estado-espacio (*State-Space*) o variables latentes.

<sup>18</sup> Maybeck (1979) señala que el filtro de Kalman es óptimo en el sentido de que utiliza toda la información disponible.

sirve como condición inicial en la nueva predicción, por tanto, todo el proceso utiliza la información disponible hasta ese momento. Figura 2.

Figura 2: Aplicación del filtro de Kalman



Fuente: elaboración propia

En otras palabras, el filtro de Kalman es un mecanismo que, a partir de toda la información disponible a priori, calcula el estado del sistema a posteriori, es decir las variables que lo caracterizan y determinan su comportamiento en  $t+1$ , también estima la matriz de covarianza; esta etapa se llama predicción. Después, en la etapa de corrección obtiene los errores de medición y la varianza del error y los incorpora al sistema minimizándolos. Se dice que es recursivo porque dicho proceso se hace en un ciclo de predicción y corrección sin parar hasta que termina la muestra

Maybeck (1979:4) argumenta que el filtro “procesa todas las mediciones disponibles, independientemente de su precisión, para estimar el valor actual de las variables de interés, con el uso de (1) el conocimiento del sistema y la dinámica del dispositivo de medición, (2) la descripción estadística de los ruidos del sistema, errores de medición e incertidumbre en los modelos dinámicos, y (3) con alguna información disponible sobre las condiciones iniciales de las variables de interés”.

Solera (2003) considera que entre las ventajas que presenta el filtro de Kalman pueden destacarse dos fundamentales: por un lado, el algoritmo permite o acepta la no estacionariedad siempre que el proceso sea estable, esta ventaja fue expuesta por Kalman (1960:36) y Kalman y Bucy (1961:51); por otro lado, presenta un método recursivo que permite el cálculo en tiempo real de las estimaciones y evita la influencia de posibles cambios estructurales en la estimación.

En cuanto a la primera ventaja señalada por Solera (2003), diversos autores han expuesto que es posible usar variables no estacionarias si se hacen algunas modificaciones en la especificación del estado-espacio. Montenegro (1991:85) menciona que no basta con hacer que algunos elementos en la ecuación de transición sean menores a 1, si no que se deben especificar varianzas que aumenten con el tiempo. Además, Boone (2000) señala que la ecuación de transición puede modificarse, por ejemplo, puede tomar la forma de un proceso de regresión automática para reflejar una tendencia al alza. Por otro lado, Fabiani y Mestre (2001) mencionan que es posible especificar el estado-espacio de una forma más compleja para reflejar mejor el comportamiento de la variable de estado, por ejemplo, es posible usar el modelo de tendencia lineal local para la ecuación de transición.

Este aspecto del filtro de Kalman es una gran virtud, puesto que permite el uso de variables no estacionarias sin la necesidad de transformaciones previas que pueden afectar la interpretación de los resultados.

Por su parte, Hamilton (1994) señala que, entre otros beneficios, este algoritmo proporciona una forma de calcular el pronóstico exacto de muestra finita y la función de verosimilitud exacta para los procesos ARMA gaussianos, para factorizar funciones generadoras de la matriz de auto covarianza o densidades espectrales, y estimar auto regresiones vectoriales con coeficientes que cambian con el tiempo.

Harvey (1989) considera que el filtro de Kalman es importante debido a que permite que la estimación del vector de estado se actualice continuamente a medida que haya nuevas reservas disponibles. Además, cuando las perturbaciones y el vector de estado inicial se distribuyen normalmente, permite que la función de probabilidad se calcule a través de lo que se conoce como descomposición del error de predicción. Esto abre el camino para la estimación de cualquier parámetro desconocido en el modelo.

El filtro de Kalman es conveniente al usar una función de máxima verosimilitud para obtener variables no observables, como la NAIRU, dadas las ecuaciones de medición (1) y transición (2). Además, el filtro trabaja en un ciclo de filtrado y suavizado.

### 4.2.1 Filtro

El procedimiento de filtrado acumula las estimaciones a medida que se dispone de nueva información sobre la variable observada. Para derivar el filtro hay que regresar a la ecuación de transición (2), considerando la distribución condicional del vector de estado  $X$  dada la información disponible en el momento  $s$ . Si  $\alpha_t$  es la estimación óptima de la variable de estado, podemos definir la matriz de media (3) y varianza/covarianza (4) de la distribución condicional como (Véase IHS Global Inc. 2014: 603):

$$(3) \quad \alpha_{t|s} \equiv E_s(\alpha_t)$$

$$(4) \quad P_{t|s} \equiv E_s \left[ (\alpha_t - \alpha_{t|s})(\alpha_t - \alpha_{t|s})' \right]$$

Dado  $\alpha_{t-1}$  y  $P_{t-1}$ , el filtro de Kalman puede escribirse (Turner *et al.*, 2001:184):

$$(5) \quad \alpha_{t+1|t} \equiv (T - K_t Z) \alpha_{t|t-1} + K_t (y_t - d_t)$$

Con

$$(6) \quad K_t = T P_{t|t-1} Z' F_t^{-1} ; F_t = Z P_{t|t-1} Z + H$$

y

$$(7) \quad P_{t+1|t} = T (P_{t|t-1} - P_{t|t-1} Z' F_t^{-1} Z P_{t|t-1}) T' + Q$$

Las ecuaciones 5, 6 y 7 permiten calcular los errores de predicción  $v_t$  en el periodo  $t$  (8), para obtener la función de máxima verosimilitud (9) (Turner *et al.*, 2001:184):

$$(8) \quad v_t = y_t - Z \alpha_{t|t-1} - R D_t$$

$$(9) \quad l_t = -\frac{1}{2} \log 2\pi - \frac{1}{2} \log |F_t| - \frac{1}{2} v_t F_t^{-1} v_t$$

Como se mencionó antes, el vector de estados puede contener, y suele hacerlo, variables no observables. Para que el filtro de Kalman funcione es necesario reemplazar cualquier elemento desconocido por sus estimaciones.

### 4.2.2 Suavizado

El procedimiento de suavizado utiliza la información disponible de toda la muestra de observación. Como menciona Turner *et al.*, (2001:185) “es una recursión hacia atrás que

comienza en el momento  $T$  y produce las estimaciones suavizadas en el orden  $T, \dots, 1$ , siguiendo las ecuaciones:”

$$(10) \quad \alpha_{t|T} = a_t + P_t^* (a_{t+1|T} - T_{t+1} a_t)$$

$$(10.1) \quad P_{t|T} = P_t P_t^* (P_{t+1|T} - P_{t+1|t}) P_t^{*'}$$

$$(10.2) \quad P_t^* = P_t T_{t+1}' P_{t+1|t}^{-1}$$

#### 4.2.3 Condiciones iniciales

Los aspectos cruciales del uso del filtro de Kalman son la elección de las condiciones iniciales  $\alpha_0$  y la matriz de varianza  $P$  del error.

Las condiciones iniciales se refieren al estado inicial con el que el filtro iniciará el proceso. Si no se indica  $\alpha_0$ , el filtro de Kalman toma como valor inicial 0 o las condiciones de un estado estacionario, por otro lado, si no se indica la varianza para la ecuación de señal el filtro la toma como determinística (véase IHS Global Inc. 2014:607).

Elegir el valor adecuado para la desviación estándar en el filtro de Kalman, es un problema análogo a la elección de un parámetro de uniformidad ( $\lambda$ ) para el filtro Hodrick-Prescott, la diferencia es que con el filtro de Kalman no existe un consenso sobre los valores correctos según la serie o la periodicidad.

Rummel (2015) señala que la evaluación del filtro, el suavizado y pronóstico requieren que se proporcionen los valores pronosticados iniciales para los estados  $\alpha_0$  y la matriz de varianza  $P$ . En algunos modelos estacionarios las condiciones del estado estable permiten acercarse a esas estimaciones, pero en muchos casos no es así, pues no se cuenta con información necesaria para conocer dichos valores. Además, señala que es importante encontrar buenos valores de inicio para las estimaciones de coeficientes y la varianza del error puesto que los resultados pueden cambiar drásticamente debido a ellos.

El autor reconoce, al menos, tres formas de buscar valores iniciales:

- El primero es pura suerte. Puede resultar que los valores iniciales elegidos por primera vez para las varianzas puedan dar como resultado la convergencia de las estimaciones de máxima verosimilitud.

- El segundo sería experimentar con diferentes valores iniciales, hasta que encuentre números que deriven en resultados sensibles, aunque el enfoque de "prueba y error" puede llevar mucho tiempo.
- Finalmente, "calibrar" las variaciones de error y las estimaciones iniciales de los coeficientes a través de algún otro modelo, y utilizar dichas estimaciones como valores iniciales.

Gordon (1997:20) señala que “cuando la desviación estándar de los errores es  $\sigma_e = 0$ , la NAIRU es constante, si la desviación estándar  $\sigma_e > 0$ , el modelo permite que la NAIRU varíe en una cantidad limitada cada trimestre, pero si no se establece un límite para dicha variación entonces la NAIRU variable en el tiempo saltaría hacia arriba y hacia abajo”.

Harvey (1989) menciona que la relación entre la varianza de los términos de error en las dos ecuaciones o "relación señal-ruido" (Q/H) es de suma importancia, pues mide la volatilidad o varianza de la variable de estado  $\alpha_t$  (q) en relación con la varianza de los cambios en  $y_t$  (H). La estimación de  $\alpha_t$  sin restringir esta relación conduce a un comportamiento de la variable de estado extremadamente volátil, puesto que, de no restringir la varianza del término de error en ambas ecuaciones, esta puede tomar valores muy altos o bajos. El caso extremo es que esta relación se establezca en cero, lo que significaría que  $\alpha$  sería una constante. Ninguno de los dos casos es útil para el análisis de dicha variable.

Fabiani y Mestre (2001) y Boone (2000), explican que, para valores muy grandes de Q, la variable no observada puede absorber toda la variación residual en la ecuación de medición lo que explicaría que esta se vuelva muy volátil.

Además, Rummel (2015:19) señala que el valor de la relación señal-ruido (Q/H) juega un papel clave en la determinación de cómo se deben ponderar las observaciones para la predicción y la extracción de la señal. En una muestra grande, el filtrado es equivalente a un promedio móvil simple ponderado exponencialmente; cuanto más alto es, más se descartan las observaciones pasadas. Cuando es cero, el nivel es constante y todas las observaciones tienen el mismo peso.

Por otro lado, Boone (2000:5) demuestra que cuanto mayor sea la relación de la varianza de la ecuación de transición a los residuos de la ecuación de medición, se le dará mayor poder

explicativo a la variable no observada, y mejor será el ajuste de la ecuación de medida. La explicación es que mientras mayor sea  $Q/H$ , menores serán los errores estándar estimados para el modelo

Usualmente es necesario restringir de manera exógena dicha relación para evitar un comportamiento errático del vector de estado, sin embargo, no hay un consenso sobre cuál es el valor adecuado para la varianza del error, ni un procedimiento para elegirlo. Lo más recomendable es elegir valores que permitan obtener una variable de estado relativamente suave sin saltos muy marcados. Es posible elegirla arbitrariamente experimentando con diferentes valores, intentar calibrarla como se mencionó anteriormente o dejar que el filtro use la variación de las propias variables para determinar la varianza del error.

Turner *et al.* (2001:185) argumentan que “los valores iniciales para  $\alpha_0$  y  $P_0$  son importantes para que converja el proceso de optimización. Los valores iniciales pueden causar problemas reales si el usuario del filtro de Kalman no tiene información previa al respecto: al igual que con todos los procedimientos de maximización, si los valores iniciales están demasiado lejos de los valores reales, el sistema no convergerá. No existe un procedimiento estándar o teórico para superar este problema. Cuando es posible, una solución práctica es realizar primero una estimación que dará una idea sobre el valor del parámetro en el vector A. Sin embargo, esto no ayuda con el valor inicial para la matriz de varianza / covarianza. El "truco" habitual es darle a esta matriz un valor extremadamente alto para alejarse muy rápidamente de los valores iniciales de los parámetros”.

## Capítulo 5. Cálculo de la NAIRU para México

Hay varios métodos posibles que podrían utilizarse para estimar la NAIRU, ya sea a través una función del mercado laboral, de variables demográficas, a través de una función determinista del tiempo o como un proceso estocástico.

Aludiendo al capítulo 2, la NAIRU se puede modelar desde un enfoque estructural, el cual implica el uso de una ecuación que describe su comportamiento, como la función de producción, la forma de determinación de salarios o los determinantes de la inflación. Desde enfoques puramente estadísticos, como el filtro de Hodrick-Prescott simple, que descomponen las series en sus componentes de tendencia y ciclo; o a partir de enfoques semiestructurales o de forma reducida, que unen los dos anteriores, ya que por un lado estiman la NAIRU sobre una ecuación que describe su comportamiento y, por el otro, usan técnicas estadísticas que ponen restricciones a la variable de estado. (Turner *et al.*, 2001)

Algunas instituciones como la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD, por sus siglas en inglés) o el Banco Central Europeo (ECB, por sus siglas en inglés) suelen preferir estimaciones de la NAIRU provenientes del tercer enfoque, en específico las obtenidas con el filtro de Kalman (KF, por sus siglas en inglés).

Autores como Turner *et al.* (2001) y Boone (2000), argumentan que el KF ha tomado tal importancia debido las ventajas que presenta frente a otros como el filtro Holdrick Prescott simple (HP) o el filtro Holdrick Prescott multivariado (HPMV).

Las ventajas expuestas por dichos autores se resumen a continuación:

1. La especificación del modelo está estrechamente relacionada con la definición de la NAIRU.
2. Al estimar la NAIRU en conjunto con la curva de Phillips, se garantiza que dicha variable sea la que mejor se comporta para esa curva de Phillips.
3. El filtro de Kalman puede producir márgenes de incertidumbre para la variable de estado.
4. Dependiendo del país y sus características, el KF puede usar representaciones alternativas para la ecuación de transición, ya sea como una caminata aleatoria cuando

la NAIRU parece estacionaria, o como un proceso de regresión automática para reflejar la persistencia o histéresis<sup>19</sup>.

5. Cuando las varianzas se estiman junto con los parámetros de la ecuación de medición, se puede realizar un análisis para tener en cuenta el incremento de la incertidumbre debido a la estimación de parámetros.
6. El filtro HPMV trabaja bajo la hipótesis de que la brecha de desempleo es ruido blanco lo que evita que la variable estimada (NAIRU) se aleje de la variable observada (U), incluso si existen buenas razones económicas para hacerlo. Esto no sucede con el KF.

Se decidió incursionar en la aplicación del KF por dos razones, en primer lugar, a pesar de que es una metodología popular en otros países, los trabajos que la utilizan en México son escasos y no recientes, y, en segundo lugar, porque se considera que las características del filtro pueden ser muy útiles para la economía mexicana, debido a que las variables utilizadas no son estacionarias y las características del empleo en México no son las de una economía completamente formal.

Como se mencionó anteriormente, el filtro necesita una especificación en estado-espacio para su funcionamiento, por tanto, se eligió el modelo del triángulo propuesto por Gordon (1997). El modelo del triángulo es una formulación de la curva de Phillips en dos ecuaciones: una de medida que expresa los determinantes de la variable observada y otra de transición que determina el comportamiento de la NAIRU. Además, el modelo de Gordon (1997) es ampliamente utilizado con variaciones según el país por autores como Acevedo (2008), Fabiani y Mestre (2001), Turner *et al.*, (2001), y Greenslade, *et al.* (2003), entre otros.

### 5.1 El modelo

Para estimar la NAIRU variable en el tiempo, Gordon (1997) incorpora a la curva de Phillips la brecha de desempleo, utilizada como proxy del exceso de demanda, una segunda ecuación que permite explícitamente que la NAIRU ( $U^*$ ) varíe con el tiempo.

---

<sup>19</sup> El fenómeno de histéresis, en pocas palabras, se refiere a los casos en los que una recesión tiene efectos permanentes en el crecimiento potencial de una economía y por consiguiente en nivel de desempleo, éste último aumenta de forma persistente y a pesar de la recuperación económica no regresa a su nivel precrisis, entre los motivos de esto es que el nivel de cualificación de los desempleados se vuelve obsoleto. Ver Dornbusch *et al.*, (2009).

El modelo básico utilizado por Gordon (1997:20) consiste en dos ecuaciones:

$$(11) \quad \pi_t = \alpha(L)\pi_{t-1} + \beta(L)(U_t - U_t^*) + \gamma(L)z_t + \varepsilon_t$$

$$(12) \quad U^* = U_{t-1}^* + e_t$$

Donde:  $\varepsilon_t \approx N(0, \sigma_z^2)$  y  $e_t \approx N(0, \sigma_n^2)$  y  $Cov(\varepsilon_t, e_t) = 0$

La ecuación (11) es la versión de la curva de Phillips (PC, por sus siglas en inglés) propuesta por Gordon (1997:14) denominada modelo triangular de Phillips, esta ecuación funciona como la ecuación de medida<sup>20</sup> de la notación espacio estado. En ella, la tasa de inflación depende de un conjunto tripartito de factores, esto es: a) de la influencia de sus valores pasados ( $\pi_{t-1}$ ), que se refleja en las expectativas adaptativas; b) el exceso de demanda (D) que puede representarse como la brecha del producto, la brecha del desempleo o la tasa de utilización de la capacidad y c) de un conjunto de variables que constituyen los choques de oferta (z).  $\beta$  es el parámetro de la curva de Phillips que captura la sensibilidad de la inflación ante cambios en la brecha de desempleo.

La ecuación (12) especifica el proceso que genera la variable no observable NAIRU. Dicha ecuación indica que sigue un proceso estocástico de camino aleatorio, cuyo comportamiento sólo depende de la inercia, es decir, de sus valores pasados y de un término de error. La ecuación (12) representa la ecuación de estado<sup>21</sup> del sistema.

El modelo identifica la fuente de cambio en la inflación en cada periodo. Al asumir que los errores se distribuyen normalmente, el algoritmo de Kalman permite el cálculo de la función logarítmica de verosimilitud del modelo, que facilita la estimación de los parámetros usando métodos de máxima verosimilitud.

Para México se buscó la adopción de un modelo que simultáneamente capturara la formación de expectativas de inflación, el efecto de la brecha de desempleo, y los posibles choques de oferta. Debido a que la tasa de desempleo parece presentar persistencia en varios subperiodos,

---

<sup>20</sup> Puede encontrarse en la literatura como medida, señal u observación, puesto que en ella se encuentran las entradas del sistema, los valores observados, recordemos que esta ecuación describe la relación entre las observaciones y las variables de estado del sistema.

<sup>21</sup> Puede encontrarse en la literatura como: estado, proceso o transición, en ella se describe el comportamiento de la variable de estado.

se probó con dos especificaciones distintas a la “básica” del modelo de Gordon (1997). Antes de la elección del modelo se hicieron tres pruebas:

1. Siguiendo el trabajo de Fabiani y Mestre (2002:28) se especificó la brecha de desempleo como un proceso autorregresivo. Sin embargo, se presentó una gran dificultad para especificar una ecuación de estado para la diferencia de la brecha de desempleo, además el proceso no convergió después de las 500 iteraciones.
2. Se especificó un modelo *local-linear-trend*, agregando una ecuación de estado para la tendencia de la NAIRU. los resultados de esta especificación mostraron coeficientes significativos y menores a la unidad, sin embargo, arrojaron valores negativos para la NAIRU.
3. Finalmente Siguiendo el trabajo de Acevedo (2008) se especificó la ecuación de transición como una caminata aleatoria. Los modelos resultados de esta especificación se comportaron bien, los procesos no son volátiles y convergen, además son relativamente más simples de modelar que las dos pruebas anteriores.

Se estima una variación del modelo básico de Gordon (1997) que pueda responder al comportamiento de la economía mexicana y en específico al desempleo. Por tanto, se tomó como guía el trabajo de Acevedo (2008) por ser la única investigación que se dispone para México con dicho método y debido a la simplicidad de su especificación.

El modelo estimado es el siguiente:

$$(13) \quad \delta\pi_t = \alpha\delta\pi_{t-1} + (1 - \alpha)\delta\pi_{t-2} + \beta(U_t - U_t^*) + \gamma_1\delta ltc_{t-1} + \varepsilon_t$$

$$(14) \quad U^* = U_{t-1}^* + e_t$$

Donde:  $\pi$  es la inflación trimestral anualizada,  $U$  la tasa de desempleo trimestral para personas de 15 años y más,  $U^*$  es la NAIRU y  $dltc$  es la diferencia del logaritmo del tipo de cambio USD-MX.

Para los choques de oferta se eligió el tipo de cambio pues este documento considera que sería el choque más importante por dos razones: en primer lugar, como se explicó en el capítulo 3, porque el aumento en el precio de las materias primas importadas fue uno de los

choques de oferta más recurrentes en el periodo estudiado. En segundo lugar, por los efectos directos e indirectos que tiene el tipo de cambio sobre la inflación (Ocampo, 1983).

Las variaciones en el tipo de cambio tiene efectos sobre la demanda agregada (AD, por sus siglas en inglés): por un lado, un aumento del tipo de cambio aumenta las exportaciones y estas a su vez aumentan la AD; por otro lado, un incremento en el ingreso proveniente de las exportaciones genera un aumento en la demanda interna que puede ser mayor si la propensión marginal a consumir productos domésticos es alta; además, los precios domésticos y sus expectativas son influidos por las variaciones en el tipo de cambio. De manera indirecta, el aumento en las exportaciones puede generar un aumento en las reservas que modifica la oferta monetaria interna, y dicho efecto puede afectar la AD dependiendo de la disponibilidad de crédito y liquidez en la economía.

Además, se aplicó la prueba Dickey Fuller Aumentada (ADF) a las variables utilizadas y se encontró que la tasa de desempleo presenta raíz unitaria. Los resultados se encuentran en el anexo.

#### 5.1.1 Elección de condiciones iniciales

En el capítulo 4 se explicó que una buena elección de las condiciones iniciales garantiza que el proceso converja. En este sentido, es importante elegir: a) los valores iniciales de la variable de estado y de los coeficientes de las variables y b) restringir la "relación señal-ruido" (Q/H), eligiendo la dispersión de los errores para la ecuación de medida y estado. Dicho cociente mide la volatilidad o varianza de la variable de estado " $u^*$ " (Q) en relación con la varianza de los cambios de la variable señal " $\Delta\pi$ " (H), por tanto, es crucial restringir la varianza del error en la ecuación de estado.

Para la relación señal-ruido de la curva de Phillips, Greenslade, *et al.* (2003) indican que se espera que  $u^*$  sea menos volátil que la inflación y se mueva poco de un periodo a otro. Mientras que Gordon (1997) menciona que lo mejor es escoger una varianza para la ecuación de estado que dé como resultado una variable suave que no salte de un trimestre a otro ya que  $u^*$  está ceñida a la estructura microeconómica del país.

Debido a lo anterior, se puede restringir la "relación señal-ruido" bajo tres premisas:

1. La NAIRU no debe ser demasiado volátil y saltar de un trimestre a otro.

2. La NAIRU es menos volátil que la inflación, es decir  $Q < H$
3. La NAIRU debe ser menos volátil que la tasa de desempleo efectiva.

Para la volatilidad de la NAIRU Gordon (1997) sugiere una desviación estándar de 0.2 y 0.4 para Estados Unidos. Autores como Acevedo (2008), Greenslade *et al.* (2003) y Fabiani y Mestre (2001) utilizan una desviación similar al estimar la NAIRU para México, Reino Unido y Zona Euro respectivamente, mientras que Cusbert (2017) utiliza 0.1 para Australia. Por su parte, Boone (2000) menciona que, en diversos estudios para Estados Unidos y Francia, los valores comúnmente utilizados en la ecuación de transición (Q) están entre 0.0025 y 0.1, mientras que los valores utilizados en la ecuación de medida (H) usualmente se encuentran entre 0.25 y la unidad.

En este trabajo se elaboraron varios modelos para aproximarse a la varianza de la ecuación de estado, los modelos cuya varianza era igual a 0.04 arrojaron coeficientes significativos, por tanto, se consideró una desviación estándar de la ecuación de transición igual a 0.2, similar a la que usó Acevedo (2008) para México, además, se restringió la “relación señal-ruido” bajo las premisas descritas con anterioridad.

Para determinar los valores iniciales se realizó una estimación de la curva de Phillips con un modelo de MCO, para la brecha de desempleo se consideró una NAIRU constante igual al promedio de la tasa de desempleo. Una vez obtenidos los valores iniciales se estimó el modelo de estado-espacio por el método de máxima verosimilitud, utilizando un filtro de Kalman.

## 5.2 Curva de Phillips

La tabla 2 recoge los resultados del modelo descrito en el apartado anterior. Se muestra una curva de Phillips de pendiente negativa. La brecha de desempleo fue significativa y se encontró una NAIRU igual a 3.44% para el último trimestre de 2018. El nivel de la NAIRU estimada no se aleja mucho de las estimaciones de autores como Loría, *et al.* (2019), 3.42% en 2018Q2, o Banco de México (2016), 4.45% en 2017Q1.

La tabla muestra los coeficientes de las variables incluidas, la NAIRU estimada para el último trimestre de 2018, y su significancia. Además, se incluyen los indicadores de bondad de ajuste del modelo como son: la raíz del error cuadrático medio (RMSE), el Log-verosimilitud

(LL), los criterios de información, y las pruebas de normalidad, autocorrelación de los errores y raíz unitaria. La matriz de varianzas y covarianzas se encuentra en el anexo. Las pruebas muestran que el modelo tiene problemas de no normalidad de los residuos, pero no presenta raíz unitaria ni correlación de los errores

**Tabla 2 Curva de Phillips, 1994Q1-2018Q4**

	<b>Coefficiente</b>	<b>Error Estándar</b>	<b>Estadístico-z</b>	<b>Prob.</b>
$\alpha$	0.605019	0.009402	64.34785	0.00000
$\beta$	<b>-1.546847</b>	<b>0.051220</b>	<b>-30.19988</b>	<b>0.00000</b>
$\gamma_1$	19.25496	0.626943	30.71245	0.00000
	<b>Último estado</b>	<b>RMSE</b>	<b>Estadístico-z</b>	<b>Prob.</b>
NAIRU	3.320736	0.443040	7.495341	0.00000
LL	-399.3982	Akaike Information Criterion (AIC)		8.047964
AC	40.100 (0.293)	Bayesian Information Criterion (BIC)		8.126119
JB	2966.801 (0.0000)	Hannan-Quinn		8.079594
ADF	-8.448237 (0.0000)			
<b>Prueba Jarque-Bera (JB)</b>		<b>Augmented Dickey-Fuller (ADF)</b>		
H0: se comporta como una normal		H0: presenta raíz unitaria		
No rechaza Ho	0 < JB < 5.99 (Prob > 0.05)	No rechaza Ho	(Prob > 0.05)	
Rechaza Ho	0 > JB o JB > 5.99 (Prob < 0.05)	Rechaza Ho	(Prob < 0.05)	
<b>Función de autocorrelación</b>				
H0: no autocorrelación de los errores				
No rechaza Ho	(Prob > 0.05)			
Rechaza Ho	(Prob < 0.05)			

Fuente: Elaboración propia

El componente inercial de la inflación indica que parte del comportamiento de la misma está dado por sus valores pasados, es decir por sus expectativas. Se sugiere que las expectativas de la inflación actúan en 1 y 2 rezagos, en otras palabras, para la formación de las expectativas de inflación, los agentes toman en cuenta la variación inflación anterior inmediata y la correspondiente al ante penúltimo periodo.

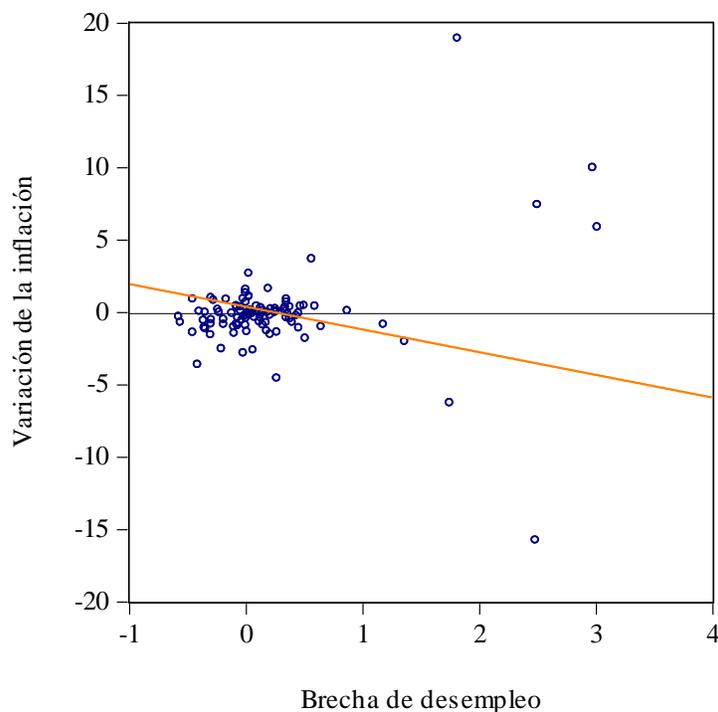
El coeficiente que captura la relación de la inflación hacia la brecha de desempleo es negativo y mayor a la unidad. Lo anterior confirma la relación teórica esperada, que existe una relación lineal e inversa entre la magnitud de la brecha de desempleo y la inflación; sin embargo, muestra alta sensibilidad de la inflación respecto de la brecha de desempleo. Es necesario recordar que en la década de los noventa la inflación mostró un comportamiento alcista, con tasas superiores a los dos dígitos, además hubo una depreciación fuerte, lo que explicaría que

los coeficientes de la brecha de desempleo y la variación del tipo de cambió sean mayor a la unidad. Es posible que si se estima un modelo a partir de 2002 se obtengan coeficientes mucho menores para ambas variables, puesto que a partir de ese año la inflación comenzó a estabilizarse.

En cuanto al choque de oferta incorporado, el coeficiente tiene el signo esperado y es estadísticamente significativo. Es decir, presenta una relación directa hacia la inflación, lo que confirmaría que durante el periodo estudiado una depreciación del tipo de cambio se traduce en un aumento en la inflación. Es posible que la magnitud del coeficiente se vea afectado por la depreciación del tipo de cambio a inicios del periodo y si se elimina dicho periodo el coeficiente sea menor.

A continuación, se muestra la curva de Phillips estimada para México de 1994Q1 a 2018Q4 con la metodología del filtro de Kalman.

Gráfica 5  
Curva de Phillips  
México, 1994Q1-2018Q4



Fuente: Elaboración propia

La confirmación de una curva de Phillips de pendiente negativa y lineal para la economía mexicana confirma dos aspectos para el periodo estudiado:

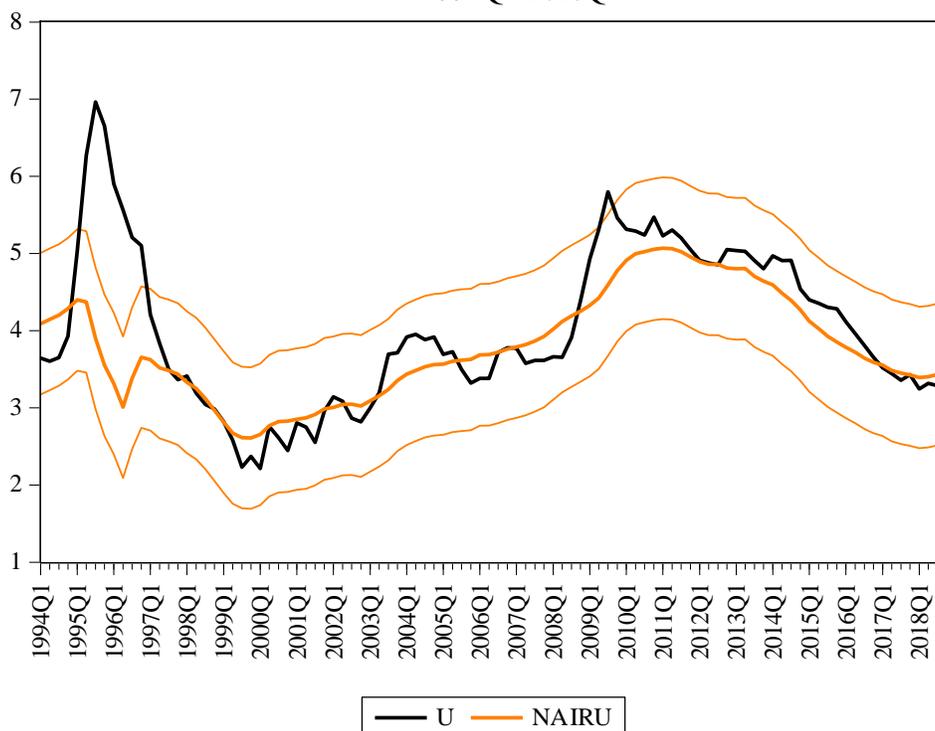
En cuanto al primer aspecto, la pendiente de la curva indica que la inflación tiende a ser mayor cuanto más negativa se vuelva la brecha de desempleo, es decir, cuando la tasa de desempleo está por debajo de la NAIRU. La relación de ambas variables muestra que los aumentos en la brecha de desempleo tienen un efecto significativo sobre la inflación, es decir, sería necesario un aumento/disminución pequeña en la brecha para obtener una disminución/aumento mayor a un punto porcentual en la inflación.

El segundo aspecto está relacionado con el primero, es que la política monetaria tiene rendimientos marginales constantes y que fue eficiente en disminuir la inflación; sin embargo, a pesar de que muestra una relación lineal e inversa entre la inflación y la brecha de desempleo, la curva no corta en el origen. Esto significa que si la brecha de desempleo es igual a cero la variación en la inflación seguirá siendo mayor a 0. Lo anterior implica que, si bien la política monetaria en el periodo estudiado fue eficiente en disminuir la inflación, no pudo mantener un equilibrio al mediano plazo. Este aspecto puede estar influenciado por el cambio del régimen de política monetaria.

### 5.3 NAIRU estimada.

La gráfica 6 ilustra la evolución de la NAIRU obtenida con el modelo descrito y la tasa de desempleo efectiva para el periodo estudiado. En la gráfica se muestra un intervalo de confianza de  $\pm 2$  RMSE. La estimación de la NAIRU es incierta, en especial en los últimos trimestres, porque es una variable que no se puede observar y los datos proporcionan sólo una señal con ruido, es por eso por lo que se muestra un intervalo de confianza del 90%, alrededor de 0.9 puntos porcentuales. Esto quiere decir que si la estimación de la NAIRU en el último periodo es igual a 3.32% existe un 10% de probabilidad de que la NAIRU real en el último periodo sea menor a 4.2% y mayor a 2.4%. Este es un punto para tomar en cuenta debido a que la estimación de la NAIRU que se presenta utilizó toda la información disponible hasta el último trimestre de 2018, sin embargo, la trayectoria de la NAIRU puede verse afectada a medida que se agrega información, incluso si se usa el mismo modelo y especificación. En el anexo se incluyó una gráfica que muestra el cambio de la trayectoria de la NAIRU a medida en la que se agregan datos desde 2016Q4 hasta 2020Q3 (gráfica 5b).

Gráfica 6  
Tasa de Desempleo y NAIRU, trimestre  
1994Q1-2018Q4



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con este procedimiento el comportamiento de la NAIRU se puede dividir en tres etapas: la primera (1994Q1-1999Q4) en la que la NAIRU es hasta llegar a su punto más bajo en 1999Q4 con 2.58%; la segunda (2000Q1-2011Q1) en la que mantuvo una tendencia positiva hasta su punto más alto en 2011Q1, con 5.10%; y finalmente (2011Q2-2018Q4), es decreciente hasta estabilizarse a partir de 2018Q1.

La disminución de la primera etapa podría explicarse por los efectos del Tratado de Libre Comercio de América del Norte que entraron en vigor en 1994. La apertura comercial y el proceso de integración económica generó un impacto positivo en las exportaciones, los flujos de inversión extranjera y el crecimiento en la industria manufacturera; los tratados de libre comercio modificaron la estructura productiva, la flexibilidad de los salarios y generaron mayor dinamismo del mercado laboral en especial en las entidades fronterizas (Banco de México, 1997). La tendencia creciente de la segunda etapa puede deberse a la disminución en la actividad económica registrada a partir del año 2000, los efectos reales de la crisis Punto-Com y la Gran Recesión de 2008. Finalmente, la tendencia decreciente del tercer periodo puede deberse a la lenta recuperación de la actividad económica mundial, así como

a los efectos de las reformas estructurales, en particular, a la Reforma Laboral que modificó la estructura del empleo y disminuyó el poder de negociación de los trabajadores.

Llama la atención que la NAIRU no regresó a los niveles previos a la crisis de 2001 en todo el periodo, pero en 2018Q4 sí alcanzó el mismo nivel registrado en el trimestre 2003Q2. Por otro lado, la misma no recuperó los niveles precrisis 2008 hasta el trimestre 2016Q1. Esto sólo puede significar que los efectos reales de la crisis Punto-Com fueron persistentes hasta la Gran Recesión y los efectos de la crisis de 2008 duraron al menos por 20 trimestres.

Además, de acuerdo con este procedimiento, entre principios del año 2000 y finales de 2018 la NAIRU aumentó de 2.58 a 3.32 por ciento de la población económicamente activa. Es decir, en comparación con inicios del siglo, actualmente la economía es capaz de absorber una menor proporción de trabajadores de la fuerza laboral, sin que ello ocasione mayores presiones inflacionarias.

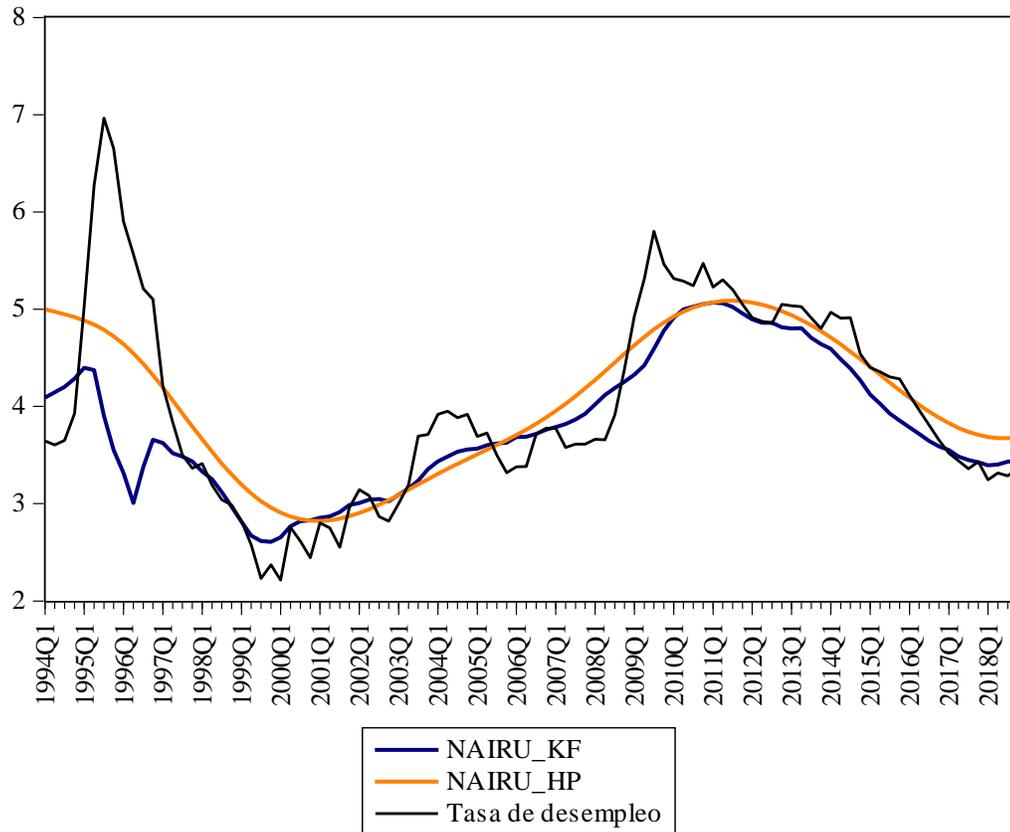
#### 5.4 Comparación estimaciones de NAIRU y brechas de desempleo.

Como se mencionó al inicio del capítulo, es posible estimar la NAIRU con diversos métodos, uno de ellos es el puramente estadístico, que consta de la descomposición de la variable en su tendencia y ciclo. En el caso del filtro Hodrick Prescott (HP), el desempleo tendencial se identifica como una media móvil ponderada del desempleo real, suponiendo un paseo aleatorio por los métodos de Watson, 1986 y Beveridge y Nelson, 1981 (citados en Turner *et al*, 2001:179).

Se descompuso la tasa de desempleo en sus componentes de tendencia y ciclo para obtener una NAIRU que, a diferencia del filtro de Kalman, tome en cuenta sólo la serie de desempleo para posteriormente identificar con cuál de las dos se obtiene un mejor resultado. En la siguiente gráfica se contrastan las NAIRUs obtenidas a partir del filtro de Kalman y el filtro HP.

En general ambas variables siguen la misma tendencia, sin embargo, se pueden distinguir diferencias en cuanto a la suavidad de su trayectoria y a la magnitud de las brechas que generan en relación con la tasa de desempleo. La magnitud de las brechas generadas y su relación con el comportamiento de la inflación se discutirá más adelante.

Gráfica 7  
 NAIRU HP y KF; Tasa de desempleo observada  
 México, 1994Q1-2018Q4



Nota: NAIRU\_HP estimada con lambda=1600

Fuente: elaboración propia

La NAIRU\_HP tiene una trayectoria más suave a comparación de la NAIRU\_KF que es más dinámica, además existen algunas diferencias que pueden tener implicaciones importantes en el diseño de la política económica:

La primera es que, como se observa en la gráfica 7 la mayoría de las veces la NAIRU\_KF se encuentra por debajo de la NAIRU\_HP, con excepción del periodo 2001Q1-2006Q1 en el que se ubica por encima, esto implica que, de acuerdo con esta metodología, el filtro HP podría estar subestimando la capacidad de la economía para absorber trabajadores sin generar presiones inflacionarias.

El segundo aspecto sería la magnitud y duración de las brechas de desempleo. Como se observa en la gráfica 7, en general la brecha obtenida del filtro de Kalman tiene menor dispersión que la resultante del filtro HP.

Por otro lado, es notable que, a pesar de que los procedimientos tienen supuestos implícitos distintos, ambas metodologías generaron brechas que parecen diferir sólo en la escala, puesto que el patrón de su comportamiento es muy similar. Este aspecto tiene implicaciones directas en cuanto al inicio y duración de las presiones inflacionarias.

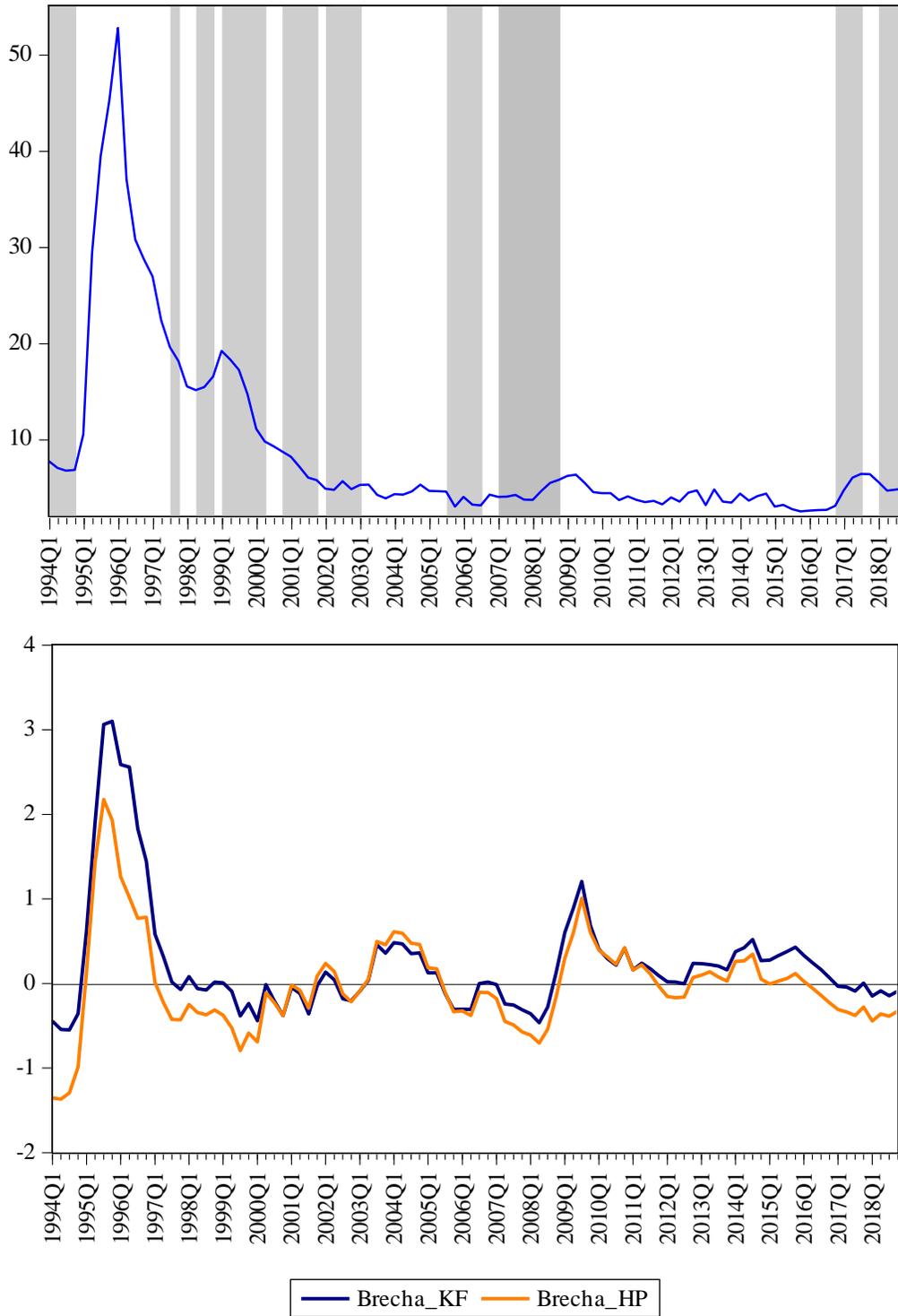
De acuerdo con la definición de la NAIRU descrita en el capítulo 2, la desviación de la tasa de desempleo de la NAIRU provocaría un crecimiento o decrecimiento de la tasa de inflación. De manera que si la tasa de desempleo se encuentra por debajo de la NAIRU esto crearía presiones por el lado de la demanda y la inflación crecería.

A continuación, la gráfica 8 muestra la inflación registrada en el periodo y una comparación de las brechas de desempleo obtenidas con la NAIRU\_KF y NAIRU\_HP. Es importante hacer este contraste para determinar cuál de las dos metodologías proporciona mejores resultados y tiene mayor utilidad para analizar el comportamiento de la inflación y la elaboración de posibles políticas.

Inicialmente se observan 4 periodos en los que la tasa de desempleo efectiva se encontraba por debajo de la NAIRU\_KF: de 1994Q1 a 1994Q4, el segundo de 1997Q3 a 2003Q1, el tercero de 2005Q2 a 2008Q3 y el cuarto de 2016Q4 a 2018Q4. En general ambas brechas muestran un comportamiento similar; sin embargo, la desviación resultante del filtro HP inicia de dos trimestres antes en el segundo y cuarto periodos, y termina un trimestre después en el primer y tercer periodo.

Todos los periodos concuerdan con un aumento en la inflación lo cual prueba la existencia de NAIRU en la economía mexicana, este efecto es inmediato en el caso de la BRECHA\_KF y con dos rezagos en el caso de la BRECHA\_HP para segundo y cuarto periodos. En el caso de tomar como válida la BRECHA\_HP, esto podría hacer que la autoridad monetaria decida aplicar políticas restrictivas mucho antes de saber si la brecha tendrá un efecto desestabilizador. Por ejemplo, en el cuarto periodo en la que la BRECHA\_HP inicia tres trimestres antes.

Gráfica 8  
Inflación y brechas de desempleo con NAIRU-KF y NAIRU-HP  
México, 1994Q1-2018Q4



Fuente: Elaboración propia.

Entre 1996 y 2003 la política monetaria de estabilización de precios en México pareció dominar cualquier presión inflacionaria causada por la brecha de desempleo, e incluso en el mismo periodo pareciera que la brecha de desempleo se estabilizó por la convergencia entre la NAIRU\_KF y el desempleo efectivo lo que permitió la desinflación del periodo.

El tercer y cuarto periodos se presentan dentro del marco de objetivos de inflación de Banco de México, a diferencia de los dos primeros las brechas presentan una duración menor y de menor profundidad. Es necesario recordar que a partir del año 2002 la inflación comenzó a estabilizarse y para finales del periodo estudiado se encontraba muy cerca del objetivo de Banco de México. Además, que la curva de Phillips estimada con el filtro de Kalman muestra una sensibilidad mayor a un punto porcentual hacia la brecha de desempleo, por lo tanto, la profundidad de la BRECHA\_KF es mucho menor que la obtenida con el filtro HP.

## Conclusiones

Se aplica el método de filtro de Kalman para estimar la curva Phillips y se obtiene una estimación de la NAIRU variante en el tiempo para México de 1994Q1 a 2018Q4. Se obtiene una curva de Phillips con pendiente negativa teóricamente consistente y una NAIRU variante en el tiempo para el periodo estudiado.

Se concluye que: a) hay una curva de Phillips para la economía mexicana en el periodo estudiado y en este marco, la NAIRU existe en la economía mexicana y corresponde al nivel de desempleo coherente con la estabilización de la inflación, y b) la brecha estimada con este procedimiento puede explicar los episodios inflacionarios y des inflacionarios con mayor precisión que la obtenida por el filtro HP, por tanto, la NAIRU estimada con el filtro de Kalman, proporciona mejores resultado que la NAIRU\_HP

Los resultados indican que del año 2000 y finales del 2018 la NAIRU aumentó de 2.58 a 3.32 por ciento de la población económicamente activa. Lo que indica que, a comparación del año 2000, actualmente la economía es capaz de absorber una menor proporción de trabajadores de la fuerza laboral, sin que ello ocasione mayores presiones inflacionarias. Dado lo anterior, vale la pena cuestionarse si la tasa de desempleo de equilibrio ha aumentado porque el nivel de producto potencial de la economía ha disminuido, y si este es el caso, cuáles son las razones de tal disminución.

Se encontró que la NAIRU sufrió aumentos significativos en dos periodos concretos, en la crisis de 2001 y en la crisis de 2008, lo que puede indicar que dichos episodios tuvieron efectos reales y persistentes en los determinantes de la NAIRU, puesto que para el primer episodio la NAIRU aumentó rápidamente y en el segundo episodio tuvo una recuperación muy lenta. Estos resultados están en línea con los de Loria, *et al.* (2019).

Se prueba que parte del comportamiento de la inflación está dado por la inercia y las expectativas, es decir que para la formación de las expectativas de inflación los agentes toman en cuenta la inflación anterior inmediata y la correspondiente al año precedente. Loria, *et al.* (2019) llegan a la conclusión de que expectativas de la inflación son adaptativas, pero toman en cuenta sólo la inflación del primer periodo precedente, nuestra conclusión extiende un poco más la suya.

Si bien el nivel de la NAIRU en el último trimestre no se aleja de las estimaciones de autores como Loría, *et al.* (2019), o Banco de México (2016), existen diferencias en cuanto a la duración y magnitud de las brechas obtenidas que pueden tener implicaciones en el diseño de política económica. Debido a que la inflación presenta una alta sensibilidad a la brecha de desempleo, la brecha obtenida es menos profunda y generalmente concuerda con el periodo en el que la inflación se desvía de su meta.

El filtro de Kalman mejora las estimaciones si dispone de más información, sin embargo, los resultados son muy sensibles a las condiciones iniciales propuestas, ya sea del estado inicial, los coeficientes iniciales o las varianzas para cada ecuación, hay varios valores que calibrar y modificar uno solo puede cambiar por completo el resultado. No se trata de una metodología sencilla y tiene que estudiarse a fondo antes de incursionar en su uso, aún con sus dificultades se concluye que es su aplicación es potencialmente útil y debería utilizarse con mayor frecuencia en otros estudios para la economía mexicana.

## Bibliografía

- Acevedo Fernández, E. (2009). PIB potencial y productividad total de los factores: Recesiones y expansiones en México. *Economía mexicana. Nueva época*, 18(2), 175-219. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-20452009000200002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-20452009000200002)
- Apel, M., & Jansson, P. (1999). A theory-consistent system approach for estimating potential output and the NAIRU. *Economics letters*, 64(3), 271-275. Obtenido de [https://econpapers.repec.org/article/eeeecolet/v\\_3a64\\_3ay\\_3a1999\\_3ai\\_3a3\\_3ap\\_3a271-275.htm](https://econpapers.repec.org/article/eeeecolet/v_3a64_3ay_3a1999_3ai_3a3_3ap_3a271-275.htm)
- Ball, L., & Mankiw, G. (2002). The NAIRU in Theory and Practice. *Journal of Economic Perspectives*, 115-136. Obtenido de <https://scholar.harvard.edu/files/mankiw/files/jep.ballmankiw.pdf>
- Banco de México. (1981). *Informe anual 1980*. Ciudad de México: Banco de México. Obtenido de <https://anterior.banxico.org.mx/publicaciones-y-discursos/publicaciones/informes-periodicos/anual/%7BF4DA7292-5231-BCD0-9DC3-869BB0540C1C%7D.pdf>
- . (1996). *Informe anual 1995*. Ciudad de México: Banco de México. Obtenido de <http://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/informes-anales/%7B0F2D589F-92A4-9C48-C456-643595B46CE5%7D.pdf>
- . (1997). *Informe anual 1996*. Ciudad de México: Banco de México. Obtenido de <https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/informes-anales/%7BC7171046-66DE-F231-2B42-2D392389B975%7D.pdf>
- . (1998). *Informe anual 1997*. Ciudad de México: Banco de México Obtenido de <https://anterior.banxico.org.mx/publicaciones-y-discursos/publicaciones/informes-periodicos/anual/%7BA1ABE8D8-DA01-F1F2-6155-5844CE195311%7D.pdf>
- . (2000). *Programa de Política Monetaria para 2001*. Ciudad de México: Banco de México. Obtenido de <http://www.anterior.banxico.org.mx/publicaciones-y-discursos/publicaciones/informes-periodicos/politica-monetaria-programa-anual/%7B2B635E65-6D91-F34F-ABC0-A0B0BE0DA8C7%7D.pdf>
- . (2009). *Informe Anual 2008*. Ciudad de México: Banco de México. Obtenido de <http://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/informes-anales/%7B27E0486F-9932-63AA-548C-7B325FF8C46E%7D.pdf>
- . (2016). *Informe trimestral octubre-diciembre*. Ciudad de México: Banco de México. Obtenido de <https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/informes-trimestrales/informes-trimestrales-precios.html>
- . (2018). *Compilación de Informes Trimestrales Correspondientes al Año 2017*. Ciudad de México: Banco de México. Ciudad de México: Banco de México Obtenido

- de <https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/informes-trimestrales/informes-trimestrales-precios.html>
- . (2019a). *Informe Anual 2018*. Ciudad de México: Banco de México. Obtenido de <https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/informes-anales/%7B36AAF21D-FB2A-510C-6F84-79269AD3EC35%7D.pdf>
- . (2020). *Sistema de Información Económica*. Ciudad de México: Banco de México. Obtenido de <https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?sector=6&accion=consultarCuadro&idCuadro=CR60&locale=es>
- Bernanke, B. S., & Mishkin, F. S. (1997). Inflation Targeting: A New Framework for Monetary Policy? *The Journal of Economic Perspectives*, 11(2), 97-116.
- Blanchard, O., Amighini, A., & Giavazzi, F. (2012). *Macroeconomía*. Pearson.
- Blanchard, O., Dell'Araccia, G., & Mauro, P. (2010). Repensando la política macroeconómica. *Economía Institucional*, 61-82. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rei/v12n22/v12n22a3.pdf>
- Blanchard, O. & Katz, L. (1997). What We Know and Do Not Know About the Natural Rate of Unemployment. *Journal of Economic Perspectives*, 11(1), 51-72. Obtenido de [https://scholar.harvard.edu/files/lkatz/files/what\\_we\\_know\\_and\\_do\\_not\\_know\\_about\\_the\\_natural\\_rate\\_of\\_unemployment.pdf](https://scholar.harvard.edu/files/lkatz/files/what_we_know_and_do_not_know_about_the_natural_rate_of_unemployment.pdf)
- Blinder, A. (1998). *Central Banking in Theory and Practice*. London, England: The MIT Press.
- Boone, L. (2000). Comparing Semi-Structural Methods to Estimate Unobserved Variables: The HPMV And Kalman Filters Approaches. *Working Papers Organisation for Economic Co-operation and Development* (40). Obtenido de <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/112875725526.pdf?expires=1574347718&id=id&accname=guest&checksum=2E52A442C34C816185B90E887AD9BDDA>
- Carlin, W. & Soskice, D. (2015). *Macroeconomics, Institutions, Instability, and the Financial System*. Oxford University press.
- Carstens, A. & Reinoso, A. (1997). Alcances de la política monetaria: marco teórico y regularidades empíricas en la experiencia mexicana. *Documento de investigación No. 9705*. Obtenido de <http://www.anterior.banxico.org.mx/publicaciones-y-discursos/publicaciones/documentos-de-investigacion/banxico/%7B36F5AED6-C4AF-0B7F-B099-420FD2B79FF4%7D.pdf>
- Contreras, S., Pino, O., & Pizzinga, A. (2006). Aplicación de la metodología Espacio-Estado en el análisis de las series de desempleo: caso Región del Bío-Bío. *Theoria*, 15(1), 65-78. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/299/29915107.pdf>

- Cusbert, T. (2017). Estimating the NAIRU and the Unemployment Gap. *Bulletin, Reserve Bank of Australia*. Obtenido de <https://www.rba.gov.au/publications/bulletin/2017/jun/bu-0617-2a.html>
- Dickens, W. T. (2008). A New Method for Estimating Time Variation in the NAIRU. *Conference Series*, 205-242. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/46567063\\_A\\_new\\_method\\_to\\_estimate\\_time\\_variation\\_in\\_the\\_NAIRU](https://www.researchgate.net/publication/46567063_A_new_method_to_estimate_time_variation_in_the_NAIRU)
- Dornbusch, R., Fischer, S., & Startz, R. (2009). *Macroeconomics*. McGraw-Hill.
- Espinoza, M., & Russel, S. (1997). History and Theory of the NAIRU: A critical review. *Economic Review*. 82(2), 4-25. Obtenido de [https://www.frbatlanta.org/research/publications/economic-review/1997/q2/vol82no2\\_history-and-theory-of-NAIRU](https://www.frbatlanta.org/research/publications/economic-review/1997/q2/vol82no2_history-and-theory-of-NAIRU). as px
- Fabiani, S., & Mestre, R. (mayo de 2001). A System Approach for Measuring the Euro area NAIRU. *Working paper*(65). Obtenido de <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwps/ecbwp065.pdf>
- Federal Reserve Economic Data St. Louis. (2020). *FRED Economic Data*. Obtenido de: [https://fred.stlouisfed.org/tags/series?t=mexico %3Bunemployment](https://fred.stlouisfed.org/tags/series?t=mexico%3Bunemployment)
- Friedman, M. (Marzo de 1968). The Role of Monetary Policy. *The American Economic Review*, 1-17. Obtenido de [https://www.fep.up.pt/docentes/pcosme/CIF\\_1Ec101\\_2014/Freedman1968.pdf](https://www.fep.up.pt/docentes/pcosme/CIF_1Ec101_2014/Freedman1968.pdf)
- Friedman, M. (1977). Inflation and unemployment. *The Journal of Political Economy*, 451-472. Obtenido de <http://www.jstor.org/stable/1830192>
- Galbraith, J. K. (1997). Time to Ditch the NAIRU. *Journal of Economic Perspectives*, 11(1), 93-108. Obtenido de: <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/jep.11.1.93>
- Gordon, R. J. (1997). The Time-Varying NAIRU and Its Implications for Economic Policy. *Journal of Economic Perspectives*, 11-32. Obtenido de <https://www.nber.org/papers/w5735>
- Greenslade, J., Pierse, R., & Saleheen, J. (2003). A Kalman filter approach to estimating the UK NAIRU. *Working Paper no. 179 The Bank of England*. Obtenido de [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=425762](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=425762)
- Guevara, G. C. (2016). El control de sistemas dinámicos caóticos en economía: una aplicación a las reglas de política monetaria. (*tesis doctoral*). Madrid: Universidad Comptense de Madrid.
- Hamilton, J. (1994). *Time Series Análisis*. Princeton, Ney Jersey: Princeton University Press.
- Harvey, A. (1989). *Forecasting, Structural Time Series Models and the Kalman Filter*. Cambridge University Press.

- Harvey, A., Koopman, S. J., & Shephard, N. (2004). *State Space and Unobserved Component Models*. Cambridge University Press.
- IHS Global Inc. (2014). *Users Guide II Eviews 8.1*.
- INEGI. (2020). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. *Banco de Información Económica*. Obtenido de: <https://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>
- International Monetary Found. (1996). *World Economic Outlook: The rise and fall of inflation*. Washington, DC: WEF. Obtenido de <https://www.imf.org/external/pubs/weo/CONTENTS.htm>
- Kalman, R. (1960). A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. *Journal of Basic Engineering, ASME*, 82 (Series D), 35-45. Obtenido de <http://www.unitedthc.com/DSP/Kalman1960.pdf>
- Kalman, R. E., & Bucy, R. S. (1961). New results in linear filtering and prediction theory. *Journal of Basic Engineering, ASME*, 82 (Series D), 95-108. Obtenido de <https://www.semanticscholar.org/paper/New-Results-in-Linear-Filtering-and-Prediction-K%C3%A1lm%C3%A1n-Bucy/5c2f635fd11d2d001b7f9921007c6d3cf201eebf>
- King, R., Stock, J., & Watson, M. (1995). Temporal instability of the unemployment-inflation relationship. *Economic Perspectives*, 19(3), 2-12. Obtenido de [https://scholar.harvard.edu/files/stock/files/temporal\\_instability\\_of\\_the\\_unemployment-inflation\\_relation.pdf](https://scholar.harvard.edu/files/stock/files/temporal_instability_of_the_unemployment-inflation_relation.pdf)
- Kydland, F., & Prescott, E. (1977). Rules Rather than Discretion: The Inconsistency of Optimal Plans. *Journal of Political Economy*, 85(3), 473-492. Obtenido de <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/260580>
- Laubach, T. (2001). Measuring the NAIRU: evidence from seven economies. *The Review of Economics and Statistics*, 218-231. Obtenido de <https://www.mitpressjournals.org/doi/abs/10.1162/00346530151143761?journalCode=rest>
- Lavoie, M. (2014). *Post-Keynesian economics: New Foundations*. Northampton: Edward Elgar. Obtenido de <https://www.e-elgar.com/shop/eep/preview/book/isbn/9781783475827/>
- Loría, E., Márquez, J. C., & Ramírez, G. (2008). Cálculo de la nairu en México, 1980-2007. *Comercio Exterior*, 630-639.
- Loría, E., Valdez, J., & Tirado, R. (2019). Estimación de la NAIRU para México, 2002q1-2018q2. *Investigación Económica*, vol. 78(309), 39-62. Obtenido de <http://www.revistas.unam.mx/index.php/rie/article/view/69621>
- Logeay, C & Tober, S. (2004). Explaining the time-varying Nairu in the Euro Area. *Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung*, Berlin, mimeo Obtenido de <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-statistical-working-papers/-/ks-dt-04-005>

- Maybeck, P. (1979). *Stochastic models, estimation and control* (Vol. I). Academic Press. Obtenido de [https://www.cs.unc.edu/~welch/kalman/media/pdf/maybeck\\_ch1.pdf](https://www.cs.unc.edu/~welch/kalman/media/pdf/maybeck_ch1.pdf)
- Millán, S. I., Iglesias, C. H., & Gutiérrez, J. P. (2004, September). El espacio de estados en Econometría. In *VIII Congreso de Ingeniería de Organización* (pp. 307-314). Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/45448404\\_El\\_espacio\\_de\\_estados\\_en\\_econometria](https://www.researchgate.net/publication/45448404_El_espacio_de_estados_en_econometria)
- Minsky, H. (1992). The financial instability hypothesis. *The Jerome Levy Economics Institute of Bard College. Working Paper(74)*. Obtenido de <http://www.levyinstitute.org/pubs/wp74.pdf>
- Modigliani, F., & Papademos, L. (1975). Targets for Monetary Policy in the Coming Year. *Brookings Papers on Economic Activity*, 141-165. Obtenido de <https://www.brookings.edu/bpea-articles/targets-for-monetary-policy-in-the-coming-year/>
- Montenegro, Garcia, A. (1991). El Filtro Kalman: Derivación y Práctica. *Revista Desarrollo y Sociedad*, (28), 79-91. Obtenido de <https://revistas.uniandes.edu.co/doi/pdf/10.13043/dys.28.5>
- Ocampo, J. A. (1983). Precios internacionales, tipo de cambio e inflación: un enfoque estructuralista. *El Trimestre Económico*, 50(199(3)), 1575-1602. Obtenido de <https://www.jstor.org/stable/23395863?seq=1>
- Palley, T. I. (2001). Endogenous Money: What it is and Why it Matters. *Metroeconomica*, 53, 152-180. Obtenido de <https://ssrn.com/abstract=312810>
- Perrotini, I., (2007). El nuevo paradigma monetario". *Economía UNAM*, (11), 64-82 Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/eunam/v4n11/v4n11a4.pdf>
- Phelps, E. S. (1967). Phillips curves, expectations of inflation and optimal unemployment over time. *Economica*, 254-281. Obtenido de <https://www.jstor.org/stable/2552025?seq=1>
- Rasi, Chris-Marie & Viikari, Jan-Markus, 1998. The time-varying NAIRU and potential output in Finland. *Research Discussion Papers 6/1998, Bank of Finland*. Obtenido de <https://helda.helsinki.fi/bof/handle/123456789/7894>
- Rodríguez, P., Ludow, J., & Peredo, F. (2004). La curva de Phillips y la NAIRU en México. *Economía, Teoría y Práctica*(20), 83-103.
- Rowell, D. (2002). *State-Space Representation of LTI Systems*. Massachusetts Institute of Technology. Obtenido de: <http://web.mit.edu/2.14/www/Handouts/StateSpace.pdf>
- Rummel, O. (2015). Estimating the output gap for Kenya: a practical guide to some state-space and Kalman filter trend-cycle decompositions. *Working Paper Bank of England*. Obtenido de <https://cmi.comesa.int/wp-content/uploads/2016/03/Ole-Rummel-4-Feb-State-space-models-and-the-KF-ercise.pdf>

- Samuelson, P. A., & Solow, R. M. (1960). Analytical aspects of anti-inflation policy. *The American Economic Review*, 50(2), 177-194. Obtenido de <https://www.jstor.org/stable/1815021?seq=1>
- Solera Ramírez, Á. (2003). El filtro de Kalman. *Working paper, Banco Central de Costa Rica*. Obtenido de <https://docplayer.es/39669196-El-filtro-de-kalman-alvaro-solera-ramirez.html>
- Staiger, D., Stock, J., & Watson, M. (1997). The NAIRU, Unemployment and Monetary Policy. *The journal of Economic Perspectives*, 33-39. Obtenido de <https://pubs.aeaweb.org/doi/pdfplus/10.1257/jep.11.1.33>
- Stiglitz, J. (1997). Reflections on the Natural Rate Hypothesis. *Journal of Economic Perspectives*, 11(1), 3-10. Obtenido de <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/jep.11.1.3>
- Tobin, J. (1980). Stabilization Policy Ten Years After. *Brookings Papers on Economic Activity*, 19-71. Obtenido de [https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/1980/01/1980a\\_bpea\\_tobin.pdf](https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/1980/01/1980a_bpea_tobin.pdf)
- Turner, D., Boone, L., Giorno, C., Meacci, M., Rae, D., & Richardson, P. (2001). Estimating the Structural Rate of Unemployment for the OECD Countries. *OECD Economic Studies*(33), 171-216. Obtenido de <http://www.oecd.org/social/labour/18464874.pdf>
- Varela, R., & Torres, V. (2009). Estimación de la tasa de desempleo no aceleradora de inflación. *Análisis Económico*, 278-295. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/413/41312227014.pdf>
- Wickens, M. (2008). *Macroeconomic Theory: A Dynamic General Equilibrium Approach*. Princeton University Press. Obtenido de [http://assets.press.princeton.edu/releases/wickens\\_questions3.pdf](http://assets.press.princeton.edu/releases/wickens_questions3.pdf)

## Anexo

**Tabla 1a Prueba ADF**

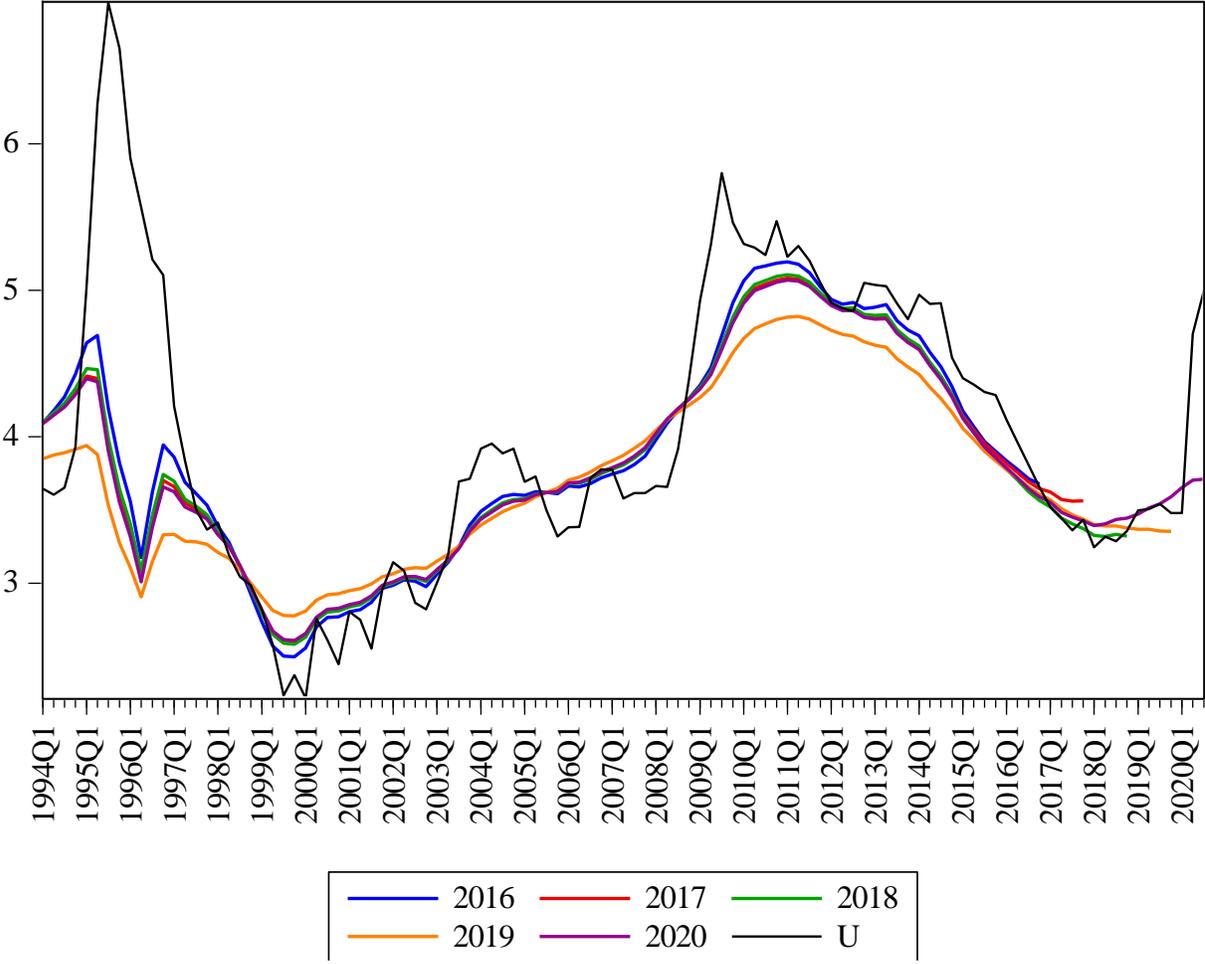
	Estadístico-t	Prob.
P	-4.12239	0.0015
U	-2.610297	0.0942
LITCR	-2.012768	0.2811
<b>Augmented Dickey-Fuller (ADF)</b>		
Ho: presenta raíz unitaria		
No rechaza Ho	(Prob > 0.05)	
Rechaza Ho	(Prob < 0.05)	

**Tabla 2 Matriz de Varianzas y covarianzas de los coeficientes**

---

	$\alpha$	$\beta$	$\gamma_1$
$\alpha$	7.76E-05	1.32E-06	-0.001646
$\beta$	1.32E-06	0.001921	-0.007735
$\gamma_1$	-0.001646	-0.007735	0.330859

Gráfica 5b  
Comparacion NAIRU estimadas  
1994Q1-2020Q3



Fuente: elaboración propia