



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales
ICADE

TIPO DE INTERÉS NEUTRAL EN ESTADOS UNIDOS

Autor: Pablo Silvano Andreu Matas
Director: Ramón Bermejo Climent

MADRID | Junio 2024

Resumen

Este trabajo analiza la Tasa de Interés Neutral (TNI), su definición y su importancia en la política monetaria. Se examinan los riesgos asociados y la aplicación de esta política, incluyendo el riesgo de la Zero Lower Bound (ZLB) y la incertidumbre en las estimaciones. Se comparan diversas estimaciones precedentes de la TNI de varios estudios y se explica el dataset utilizado para el modelo propuesto. La Regla de Claudia Sahm se introduce como un indicador de recesión basado en el desempleo. Se aplican los hallazgos del modelo a la política monetaria, la evaluación de riesgos económicos, y la planificación financiera. Finalmente, se discuten las limitaciones del modelo y se proponen mejoras futuras.

Abstract

This thesis examines the Neutral Interest Rate (NIR), its definition, and its importance in monetary policy. The associated risks and applications of this policy are explored, including the Zero Lower Bound (ZLB) risk and the uncertainty in estimates. Various preceding estimates of the NIR from several studies are compared, and the dataset used for the proposed model is explained. The Claudia Sahm Rule is introduced as a recession indicator based on unemployment. The model's findings are applied to monetary policy, economic risk assessment, and financial planning. Finally, the limitations of the model are discussed, and future improvements are proposed.

Tabla de Contenidos

1. Introducción	5
2. Definición de la Tasa de Interés Neutral	6
3. Riesgos y Aplicación de la Política Monetaria	9
3.1 Las Estimaciones “Smooth” en los Modelos	9
3.2 La incertidumbre	9
3.3 El Riesgo de Caer en la <i>Zero Lower Bound</i> (ZLB)	10
3.4 ¿Es Realmente Eficaz la Política Monetaria?	11
4. Análisis y Comparación de Estimaciones Precedentes	13
4.1 Estimaciones de Fiorentini et al.	13
4.2 Estimaciones de Brand & Mazelis	14
4.3 Estimaciones de Ajevskis	15
4.4 Estimaciones de Haavio et al.	17
4.5 Estimaciones de Gerali & Neri	18
5. Explicación del Dataset	20
6. Desarrollo del Modelo	22
7. Interpretación del Modelo	24
7.1 Análisis Temporal de la Tendencia y el Ciclo	24
7.2 Identificación de Factores Clave	25
8. La Regla de Claudia Sahm	27
8.1 Explicación y Reconocimiento	27
8.2 Aplicación de la Regla	28
9. Aplicación Práctica del Modelo	30
9.1 Política Monetaria	30
9.2 Evaluación de Riesgos Económicos	30
9.3 Planificación Financiera y Empresarial	30
9.4 Inversiones Financieras	31
9.5 Implicaciones para el Crecimiento Económico	31
9.6 Política Fiscal	31
10. Limitaciones del Modelo	33
10.1 Sensibilidad a Supuestos Modelísticos	33
10.2 Dificultad para Medir la TNI	33
10.3 Impacto de Choques Externos	33
10.4 Variabilidad Temporal	34

11.	Mejora y Complementación del Modelo.....	35
11.1	Uso de Datos de Alta Frecuencia.....	35
11.2	Integración de Modelos Estructurales y No Estructurales	35
11.3	Evaluación de Incertidumbre y Rango de Estimaciones.....	35
12.	Conclusiones.....	36
13.	Declaración de Inteligencia Artificial	37
14.	Bibliografía	38
15.	Anexo	43
14.1	Anexo 1: Código de R Utilizado de Laubach y Williams.....	43

1. Introducción

La Tasa de Interés Neutral (TNI), también conocida como tasa de interés natural o r^* , es un concepto fundamental en la teoría y práctica de la política monetaria. Se refiere al nivel de la tasa de interés real que permite a la economía operar a pleno empleo y con una inflación estable. Este concepto, aunque teórico, tiene implicaciones prácticas significativas para los bancos centrales, economistas y formuladores de políticas.

Este trabajo explora en profundidad la TNI, comenzando con su definición y el marco teórico que la sustenta. Posteriormente, se examinan los riesgos y las aplicaciones de la política monetaria en relación con la TNI, incluyendo las estimaciones "smooth" en los modelos, la incertidumbre inherente, y el riesgo de caer en la Zero Lower Bound (ZLB). Se cuestiona también la eficacia real de la política monetaria en distintos contextos económicos.

A continuación, se realiza un análisis comparativo de diferentes estimaciones precedentes de la TNI, considerando estudios de diversos autores proporcionando un panorama amplio de las metodologías y resultados obtenidos en investigaciones anteriores.

En la sección dedicada al *dataset*, se explican las características y fuentes de los datos utilizados en el desarrollo del modelo propuesto en este trabajo. El modelo en sí se detalla en los capítulos siguientes, incluyendo su desarrollo e interpretación, donde se realiza un análisis temporal de la tendencia y el ciclo, y se identifican factores clave que afectan a la TNI.

La Regla de Claudia Sahm se presenta como una herramienta adicional para la evaluación del riesgo de recesión, explicando su fundamento y aplicación práctica. Esta regla se utiliza para ilustrar cómo el desempleo puede servir como un indicador adelantado de recesión y cómo puede integrarse en el análisis de la TNI.

Finalmente, el trabajo aborda las limitaciones del modelo, incluyendo, por ejemplo, la sensibilidad a los supuestos modelísticos. Se proponen mejoras y complementaciones del modelo, como el uso de datos de alta frecuencia, la integración de modelos estructurales y no estructurales, y la evaluación de la incertidumbre y el rango de estimaciones.

Este trabajo culmina con una serie de conclusiones que sintetizan los hallazgos y reflexiones finales, seguidas de una bibliografía exhaustiva y un anexo con el código de R utilizado en el modelo de Laubach y Williams, ofreciendo una guía práctica para futuros investigadores interesados en este campo.

2. Definición de la Tasa de Interés Neutral

En el corazón de la teoría macroeconómica se encuentra la tasa de interés natural (TNI), un concepto fundamental para comprender el equilibrio y la estabilidad de un sistema económico. Introducida por el economista sueco Knut Wicksell en 1898, la TNI se define como la tasa de interés real de corto plazo que permite que la economía opere en su máximo potencial sin generar presiones inflacionarias ni deflacionarias. Cabe destacar que implícito en esta definición está la ausencia de presiones al alza o a la baja sobre la tasa de inflación de precios en relación con su tendencia. Es decir, se adopta una perspectiva de largo plazo, refiriéndose al nivel de tasa de interés real que espera prevalecer, por ejemplo, de cinco a diez años en el futuro, después de que la economía haya salido de cualquier fluctuación cíclica y esté expandiéndose a su tasa de tendencia (König & Chervyakov, 2017).

En contraste, otros enfoques de investigación se centran en las fluctuaciones a corto plazo en la tasa de interés neutral, asumiendo que el valor a largo plazo es constante. Estos estudios definen la tasa de interés natural como la tasa de interés real que prevalecería si todos los precios fueran flexibles. Sin embargo, no consideramos que este enfoque sea una alternativa o contradicción a la definición de la tasa de interés natural a largo plazo de Wicksell; más bien, esta perspectiva a corto plazo es complementaria a nuestro enfoque a largo plazo (Neiss & Nelson, 2001).

Las ideas de Knut Wicksell y las diferentes perspectivas sobre la tasa de interés natural (TNI) ofrecen una comprensión profunda de este concepto fundamental. La TNI es un indicador crucial para la política monetaria, ya que los bancos centrales la utilizan como referencia para establecer las tasas de interés objetivo. Al comprender las perspectivas a corto y largo plazo, los responsables de la política monetaria pueden tomar decisiones más informadas para mantener la estabilidad económica y el crecimiento a largo plazo.

Es crucial distinguir la TNI de la tasa de interés de mercado, la cual se determina por la libre interacción entre oferentes y demandantes de fondos en el mercado financiero. La tasa de mercado responde a factores coyunturales y fluctuaciones a corto plazo, mientras que la TNI se enfoca en un horizonte de largo plazo, considerando factores estructurales y la capacidad productiva de la economía.

Para estimar la TNI, existen dos enfoques principales:

1. Enfoque del equilibrio Ahorro-Inversión: este enfoque plantea que la TNI es la tasa que iguala el ahorro y la inversión en la economía, asumiendo que la producción se encuentra en su nivel potencial. Los determinantes de la TNI bajo este enfoque son principalmente factores demográficos, como la tasa de crecimiento poblacional, la estructura etaria y la distribución del ingreso

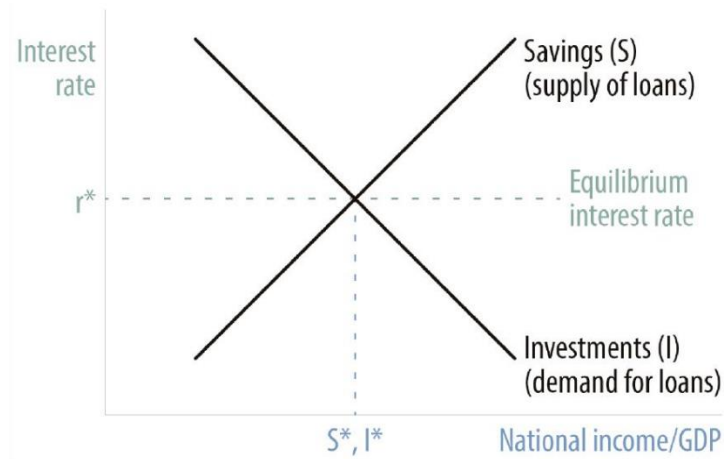


Figura 1. Equilibrio en la Curva de Ahorro-Inversión

2. Enfoque de la Demanda Agregada: en este enfoque, la TNI se define como la tasa que equilibra la demanda agregada con la producción potencial. La demanda agregada, a su vez, está influenciada por factores como el consumo, la inversión y el gasto público. Los shocks transitorios en la economía, como crisis financieras o eventos geopolíticos, pueden afectar temporalmente la demanda agregada y, por ende, la estimación de la TNI bajo este enfoque (Blanchard, 2022)

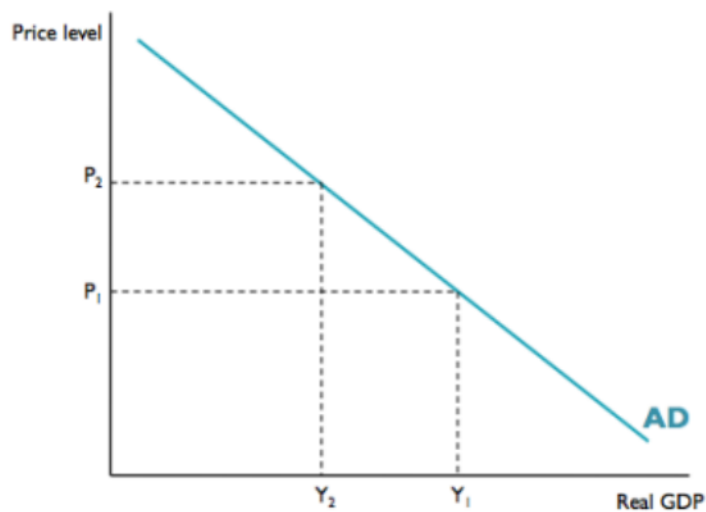


Figura 2. Curva de Demanda Agregada

La TNI es un concepto de gran relevancia para la política monetaria, ya que los bancos centrales la utilizan como referencia para establecer las tasas de interés objetivo. Si la tasa de interés de mercado se encuentra por encima de la TNI, puede generar una contracción de la economía o tendencias deflacionarias. Por el contrario, si la tasa de mercado está por debajo de la TNI, se podría estimular la economía en exceso, generando tendencias inflacionarias (Cúrdia et al., 2015).

Andreu, P. S.

Es importante destacar que la TNI no es un valor estático, sino que evoluciona con el tiempo en respuesta a cambios estructurales en la economía, como avances tecnológicos, desastres naturales como el Covid-19 o eventos geopolíticos como la guerra de Rusia y Ucrania. Es por ello que la estimación precisa de la TNI resulta compleja y sujeta a un alto grado de incertidumbre.

La TNI se ha convertido en un concepto central en la teoría macroeconómica, proporcionando un marco para analizar el equilibrio y la estabilidad de la economía. Sin embargo, es necesario reconocer que su estimación precisa es un desafío y que su aplicación en la política monetaria requiere cautela y un análisis profundo de las condiciones económicas específicas de cada país, en este caso, Estados Unidos (Woodford, 2003).

3. Riesgos y Aplicación de la Política Monetaria

En el debate sobre la política monetaria, la tasa natural de interés juega un papel fundamental. Sin embargo, existen riesgos asociados a basarse únicamente en estimaciones econométricas de la TNI para establecer la tasa de interés real. A continuación, presentamos algunos de estos potenciales problemas.

3.1 Las Estimaciones “Smooth” en los Modelos

Las estimaciones econométricas tienden a mostrar una evolución suavizada de la TNI a lo largo del tiempo. Si la política monetaria se limitara a mantener la tasa de interés real en línea con estas estimaciones suavizadas, teóricamente se cerraría el margen entre la producción potencial y la real, o brecha de producción y se estabilizaría la inflación a largo plazo.

No obstante, una política monetaria pasiva que siga ciegamente la evolución suavizada de la TNI a largo plazo podría ser ineficaz. Si bien cerraría la brecha de producción y estabilizaría la inflación eventualmente, este proceso sería lento. Una política monetaria más activa, que responda a las desviaciones de la inflación, podría lograr resultados más rápidos (Bielecki et al., 2018).

Brand & Mazelis descubrieron en el 2018 que los resultados obtenidos de la política monetaria mirando exclusivamente a la tasa neutral de interés, tienen una desviación más alta y prolongada en el tiempo que aquellos resultados en los que se incluye la inflación, especialmente desde 2015. Por el contrario, si se estima el mismo modelo utilizando la regla de Taylor, en la que se pone el término *Intercept* constante (se fija la base del tipo de interés), los parámetros de inflación y brecha de producción serían significativamente más sensibles. Esto se debe a la necesidad de lograr las mismas propiedades estabilizadoras observadas en los datos (Brand & Mazelis, 2018).

Es decir, a la hora de hacer estimaciones, basarse únicamente en la TNI sin responder a las diferencias de inflación y producción tiene propiedades estabilizadoras inferiores. En consecuencia, para lograr una estabilidad adecuada, la política monetaria necesita considerar las variaciones de la Tasa Natural de Interés, pero también responder activamente a las brechas de producción y, en particular, de la inflación. Por eso, a la hora de desarrollar nuestro modelo para estimar la TNI en Estados Unidos, incluiremos tanto la inflación como el GDP del país.

3.2 La incertidumbre

Como ya hemos mencionado, la TNI es un concepto crucial para comprender el equilibrio y la estabilidad de la economía. Sin embargo, esta tasa no se observa directamente en los datos, lo que obliga a los economistas a estimarla utilizando modelos econométricos. Pero aquí surge un problema; los resultados de estos modelos dependen en gran medida de las variables que se incluyen, las relaciones que se asumen entre ellas y los supuestos iniciales.

Uno de los temas centrales en econometría son los errores de especificación. Si se omiten variables relevantes o se incluyen variables irrelevantes, los resultados pueden variar considerablemente, llegando a conclusiones diversas. Un ejemplo de esto es la omisión de variables relevantes. A medida que se enriquece un modelo con más datos, los resultados cambian. Esto se debe a que las nuevas variables pueden proporcionar información adicional que era desconocida en el modelo original.

Incluso dentro de un mismo modelo, existe un margen de error en las predicciones. Esto se debe a la incertidumbre en torno a las relaciones entre tipos de interés, producción e inflación. No es posible hacer estimaciones exactas, y esta imprecisión se refleja en los intervalos de confianza. Un ejemplo claro de esto es el estudio de Holston et al. (2017) sobre la tasa de interés natural de los Estados Unidos. Su estimación presenta un margen de error significativo, lo que indica la imprecisión inherente a este tipo de cálculos (Gómez Hurtado, 2022).

Los modelos para calcular la TNI se basan en supuestos iniciales sobre las distintas variables que se quieren estimar, como la inflación a largo plazo. Típicamente, esta referencia se establece en el 2%, siguiendo la *target inflation* de bancos centrales como la Fed. Sin embargo, si asumimos como objetivo de inflación un 1%, significaría que se el gobierno central tendría menos margen de gestión, ya que a la mínima que quisiera subir los tipos estaría ejerciendo demasiada presión sobre los precios (Salmerón, 2020).

Históricamente, la poca solidez de las estimaciones de la tasa neutral de interés ha sido corroborada por estudios como el de Beyer y Wieland (2019). Estos autores muestran que las estimaciones son inestables y varían significativamente en respuesta a pequeños cambios metodológicos, como ajustes en los datos.

Es importante que los responsables de la política monetaria sean conscientes de estas limitaciones al interpretar las estimaciones de la TNI y las utilicen con cautela al tomar decisiones de política económica.

3.3 El Riesgo de Caer en la *Zero Lower Bound* (ZLB)

Para poder debatir sobre la ZLB, primero es necesario entenderlo. Cuando la economía enfrenta una fuerte caída, los bancos centrales suelen recurrir a políticas monetarias expansivas, como reducir las tasas de interés. Sin embargo, después de la crisis financiera de 2008, muchas economías avanzadas se encontraron con tasas de interés cercanas a cero y baja inflación, lo que deja a los bancos centrales con muy poco margen de maniobra. Esto llevó a varios bancos centrales, incluidos los de Suiza, Suecia, Dinamarca y Japón, a establecer tasas de interés por debajo de cero a partir de 2012 (Correia et al., 2013).

La efectividad de estas políticas de tasas de interés negativas es objeto de debate. Algunos argumentan que, lógicamente, cuando las tasas de interés están cerca de cero, las políticas monetarias pueden volverse ineficaces, ya que los bancos podrían tener dificultades para reducir aún más las tasas de interés en los depósitos, lo que llevaría a que las personas prefieran guardar su dinero en efectivo en lugar de depositarlo en los bancos. (Altavilla et al., 2021). Por otro lado, algunos expertos sostienen que el límite inferior cero no debería considerarse una limitación insuperable, y que las políticas de tasas de interés negativas pueden funcionar si se acompañan de cambios legales, regulatorios y fiscales. Sin embargo, la falta de experiencia y datos ha dificultado una evaluación completa de la efectividad de estas políticas (Gertler & Karadi, 2015).

Aplicando este concepto en nuestro estudio, se observa que este estancamiento en la ZLB gira en torno a la tasa de interés natural. Hoy en día, diversos factores apuntan a una posible caída de la TNI en el medio plazo, lo que aumentaría el riesgo de que la tasa de interés nominal se vea limitada por escaso efecto.

Estudios como el de Bielecki et al. (2018) muestran un incremento en el riesgo de que las tasas nominales caigan por debajo del cero. Tomando como referencia una *target inflation* constante, la probabilidad de este escenario pasaría de un 2% anual al inicio de la crisis financiera a más de un 4% anual para el año 2030, con una tendencia a seguir subiendo.

Existen dos visiones principales o dos corrientes sobre las causas de esta situación:

- La demanda: La tesis de Summers (2015) plantea que el deseo de ahorro supera con creces las oportunidades de inversión, empujando la TNI por debajo del mínimo efectivo. En este escenario, el equilibrio solo se restablecería mediante una caída de la demanda agregada
- La oferta: Por otro lado, autores como Gordon (2017) y Goodhart et al. (2015) señalan que la desaceleración de tanto la producción total como de la evolución demográfica son factores determinantes

Cabe destacar que ambas visiones pueden estar relacionadas. Una floja demanda agregada prolongada en el tiempo podría reducir la capacidad productiva de la economía a largo plazo, como sostienen Eggertson et al. (2023) y Blanchard et al. (2015).

3.4 ¿Es Realmente Eficaz la Política Monetaria?

El debate sobre la eficacia de la política monetaria en los últimos años ha cobrado gran importancia. Existen dos enfoques principales para abordar este desafío: modificar las estrategias tradicionales o utilizar instrumentos no convencionales cuando los tipos de interés nominales alcancen su límite inferior efectivo (ZLB) como el *quantitative easing*.

Andreu, P. S.

Una propuesta común es aumentar las metas de inflación (propuesta por Ball, Blanchard et al., Williams, Dorich et al.). Esto permitiría a los bancos centrales generar un tipo de interés real negativos más pronunciado, siempre que las expectativas de inflación también aumenten. Otros sugieren apuntar directamente al nivel de precios o al PIB nominal.

Un estudio de Andrade et al. (2018) analiza la relación óptima entre los cambios en la TNI y las metas de inflación. Considerando los costes de una inflación más alta, estiman que una meta de inflación del 2,2% sería óptima con una tasa neutral de interés del 2,8%. En este escenario, el tipo de interés nominal se situaría en el límite inferior efectivo alrededor del 10% del tiempo.

Curiosamente, el debate no suele abordar la eficacia de las medidas no convencionales adoptadas por los bancos centrales para superar este límite, como el ya mencionado anteriormente QE (compra de activos), la orientación futura y los tipos de interés negativos sobre reservas. Estas herramientas permiten a los bancos centrales generar un tipo de interés negativo, impactando en los rendimientos y precios de los activos.

Por último, algunos defienden el uso permanente de grandes balances por parte de los bancos centrales, en este caso la Fed, lo que podría proporcionar un mayor margen de maniobra en la gestión de los tipos de interés a corto plazo, siendo los *spreads* con el ZLB bastante más alto.

4. Análisis y Comparación de Estimaciones Precedentes

A la hora de estimar la tasa de interés neutral, el análisis y la comparación de las estimaciones precedentes desempeñan un papel crucial. Esta sección no solo nos permite evaluar la evolución de las metodologías utilizadas, sino que también nos brinda la oportunidad de comprender mejor las diferencias en los resultados obtenidos por diversos modelos. Es importante destacar que la estimación de la TNI es realmente sensible a pequeñas variaciones en los datos y al enfoque metodológico empleado. Por lo tanto, al examinar en profundidad estos estudios previos, podemos identificar las fortalezas y debilidades de cada trabajo, así como evaluar la robustez de los resultados o estimaciones obtenidas. Esta comparación nos proporciona una visión más completa que nos va a ayudar mucho a desarrollar nuestro modelo y nos va a permitir tomar decisiones más informadas y precisas.

4.1 Estimaciones de Fiorentini et al.

En el 2018, las economías desarrolladas presentaban tasas de interés realmente bajas. Esto llevó a Fiorentini et al. a estudiar por qué la tasa de interés natural ha ido disminuyendo con el tiempo.

Como esta TNI es un concepto teórico, debe medirse a partir de datos. Desde el trabajo de Laubach y Williams (2003), se han analizado métodos para medirla, mostrando una fuerte caída en las últimas décadas (ver Holston et al., 2017). Sin embargo, se considera que las mediciones habituales son imprecisas y poco prácticas para los gobiernos centrales.

El trabajo de Fiorentini et al. contribuye al debate aclarando la fuente de incertidumbre en el modelo de Laubach y Williams. Éste puede generar estimaciones precisas de la tasa de interés neutral, pero su exactitud disminuye cuando la brecha de producción es insensible a la diferencia entre la tasa de interés observada y la natural, o cuando la inflación no es sensible a la brecha de producción. En esos casos, no se pueden identificar de forma única los componentes de crecimiento y no crecimiento de la TNI. Desafortunadamente, según diversos estudios, estos casos son empíricamente relevantes.

En este estudio, se propone una versión modificada del modelo de Laubach y Williams que asume la estacionariedad de la brecha del tipo de interés. Esto permite identificar ambos componentes de la TNI incluso cuando las curvas IS y de Phillips son planas. Aplicando esta especificación a datos históricos de más de un siglo para un grupo de economías desarrolladas, se documenta una disminución generalizada de la tasa de interés natural desde principios del siglo XX hasta la década de 1960, seguida de un aumento y descenso, con un pico a finales de los años ochenta.

Dado que la TNI no es directamente observable, se analizan las razones del aumento y la caída observados. Se estima un modelo econométrico que utiliza como posibles

impulsores de la tasa un conjunto de indicadores. Los resultados sugieren que el aumento y la caída de la TNI podrían atribuirse al baby boom de la posguerra, que generó un aumento temporal de la proporción de trabajadores jóvenes en la población. Los resultados obtenidos se pueden observar en la figura 3.

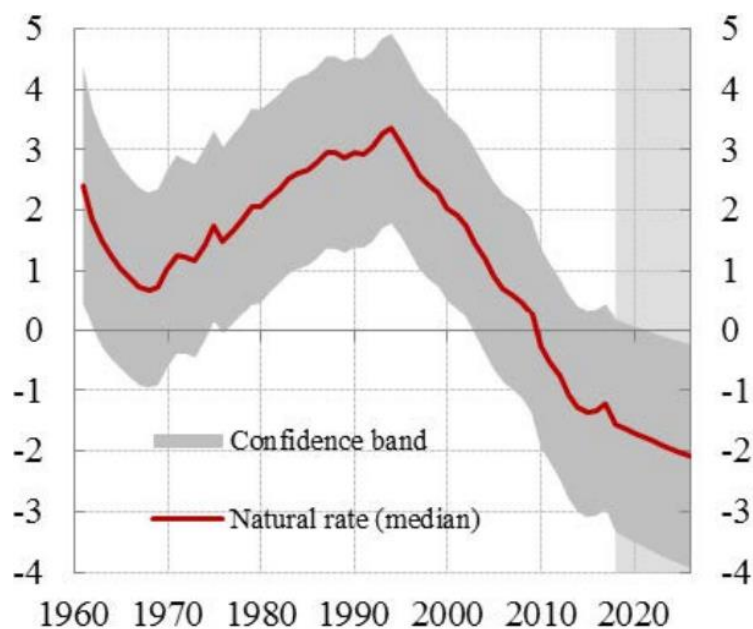


Figura 3. Estimaciones del Modelo de Fiorentini et al. (2018)

4.2 Estimaciones de Brand & Mazelis

Este estudio que analizamos de Brand & Mazelis propone un enfoque semi-estructural para estimar la tasa natural de interés, el cual combina elementos de modelos estructurales y de series temporales. Este enfoque se basa en un modelo que incluye una curva de Phillips y la curva de demanda agregada, y se estima utilizando un enfoque bayesiano que permite incorporar información previa sobre los parámetros del modelo y la incertidumbre en la estimación.

Un aspecto innovador que introducen los autores es la incorporación de una regla de Taylor mencionada previamente en el modelo. La regla de Taylor es una herramienta de política monetaria que vincula la tasa de interés real con la inflación y la brecha de producción. Con esto, se puede evaluar la consistencia de la política monetaria con la tasa natural de interés.

El estudio también incluye en el modelo la dinámica del mercado laboral, lo que permite tener en cuenta el papel de los salarios en la determinación de la inflación y la producción.

Los resultados del estudio, que se pueden ver en la figura 4, confirman la evidencia de una tendencia a la baja de la tasa natural de interés a largo plazo. La estimación de la TNI para Estados Unidos muestra una disminución constante desde finales de la década de 1980, con una caída particularmente pronunciada después de la crisis financiera global.

Los autores encuentran que la estimación de la tasa natural de interés es muy sensible a la metodología utilizada y a las especificaciones del modelo. Sin embargo, el enfoque semi-estructural propuesto proporciona resultados más robustos y consistentes con la teoría económica y la evidencia empírica, algo que podemos aprender para la realización de nuestro modelo.

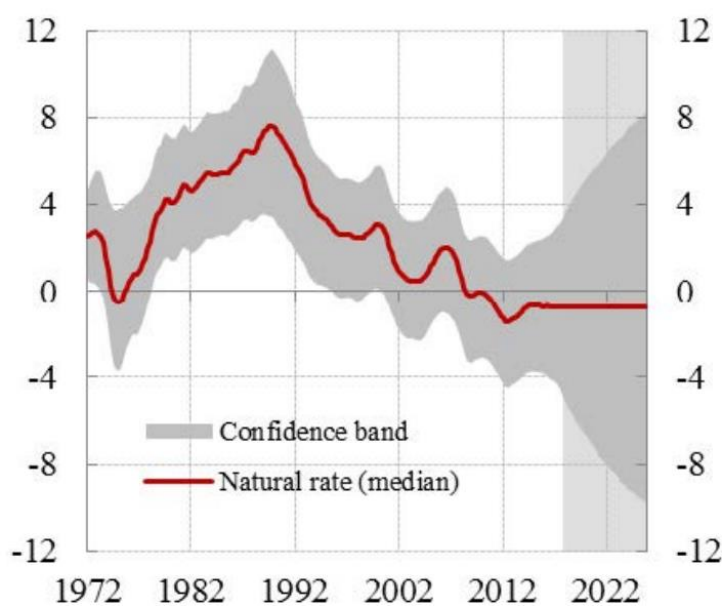


Figura 4. Estimaciones del Modelo de Brand & Mazelis (2018)

4.3 Estimaciones de Ajevskis

Este estudio de Viktors Ajevskis en 2018 explica que hay cuatro enfoques comúnmente utilizados para estimar la TNI:

1. El primer enfoque es extraer la tasa natural como la tendencia de largo plazo de una serie de tiempo de tasas reales (Hamilton et al. 2015)
2. Otra opción es utilizar un modelo semi-estructural a pequeña escala de la economía y con la ayuda del filtro de Kalman extraer conjuntamente tanto los choques a corto plazo como las tendencias a largo plazo (Laubach y Williams 2003). Este enfoque permite obtener la producción potencial, la tasa natural de desempleo, la inflación tendencial y la tasa de interés natural
3. El tercer enfoque es utilizar un modelo DSGE de escala media donde la tasa natural es la tasa que prevalecería si los precios y los salarios fueran flexibles (Barsky et al., 2014, Del Negro et al., 2017, Cúrdia et al., 2015). El cuarto enfoque

es utilizar información de los mercados financieros (de la curva de rendimiento) para estimar el nivel de la tasa de interés natural.

4. Por último, el enfoque más popular y ampliamente utilizado es el de Laubach–Williams. Sin embargo, tiene algunas deficiencias. En primer lugar, utiliza solo datos macro retrospectivos. Como resultado, los modelos de series temporales estimados con datos históricos reflejan en gran medida la tendencia a la baja en los datos. Otra deficiencia es que el modelo es lineal. Por lo tanto, ignora las no linealidades causadas por el ZLB. Esta desventaja crece en importancia a medida que el periodo de tasas de interés de los bancos centrales permanece cerca de cero durante más tiempo. Además, la revisión de Comunale y Striaukas (2017) presenta una lista detallada de deficiencias en el enfoque de Laubach–Williams, y este estudio añade algunas no mencionadas como la ignorancia del REER, el papel del riesgo, los factores globales, etc.

En este trabajo, Ajevskis decide utilizar el cuarto enfoque. Sin embargo, para evitar el problema de datos retrospectivos, el autor desarrolla un Modelo de Estructura Temporal de Tasas de Interés Afines (ATSM). Para esto, asume que las expectativas a más largo plazo de la tasa de interés real a corto plazo reflejan las opiniones o expectativas de los participantes en el mercado financiero sobre la TNI. Otra ventaja de esta forma de medir la TNI es que se puede obtener en tiempo real con la misma frecuencia que los datos de precios de bonos subyacentes. Además, concreta que este modelo es ideal para Estados Unidos por ser un mercado muy líquido.

Este estudio también se relaciona con la literatura donde se utilizan factores muy persistentes en el marco del ATSM para una mejor explicación de la dinámica de la curva de rendimiento. Para esto, Ajevskis añade conceptos nuevos como evitar el sesgo en muestras pequeñas, utilizar dos ciclos con frecuencias altas y bajas e incorporar datos de un modelo macro financiero. Los resultados de las estimaciones del autor se observan en la figura 5.

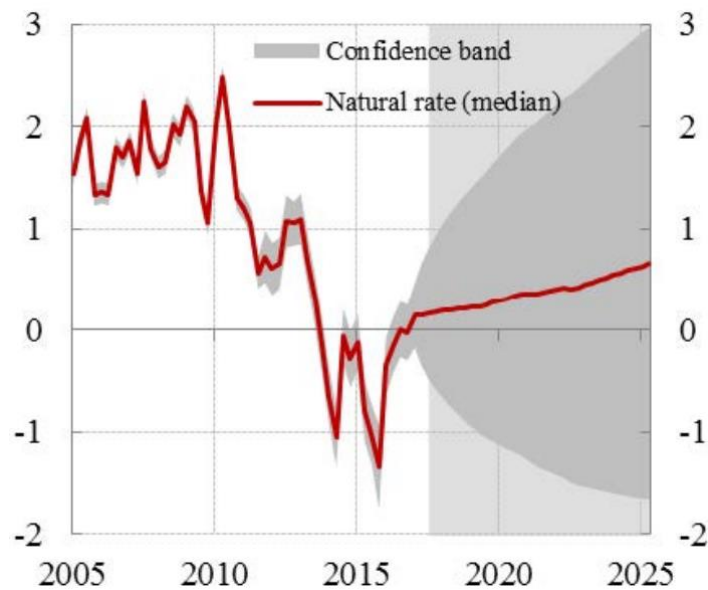


Figura 5. Estimaciones del Modelo de Ajevskis (2018)

4.4 Estimaciones de Haavio et al.

El estudio de Haavio et al. de 2017 analiza la tasa natural de interés a corto plazo en la zona euro. Su modelo se basa en el trabajo de Smets y Wouters (2002) pero lo amplía para incluir desempleo y fricciones financieras.

Una de las novedades de su enfoque es que la ecuación de Euler en relación a los hogares. Este nuevo enfoque describe la optimización del consumo a lo largo del tiempo y el autor explica cómo se ve afectado principalmente por dos factores: la preferencia por activos sin riesgo y el cambio tecnológico.

Su modelo se estima usando técnicas bayesianas. Además, incorpora tanto el EURIBOR a 3 meses como la prima de riesgo como medidas de rendimiento.

Los resultados del estudio, que se pueden ver en la figura 6, indican que la evolución de la tasa natural de interés a corto plazo ha estado principalmente influenciada por las preferencias de los hogares por activos libres de riesgo (mayor demanda de liquidez).

En resumen, este trabajo de Haavio et al. destaca el papel de las imperfecciones financieras y los cambios en las preferencias de riesgo de los agentes económicos para explicar el descenso de la tasa natural de interés a corto plazo después de la crisis.

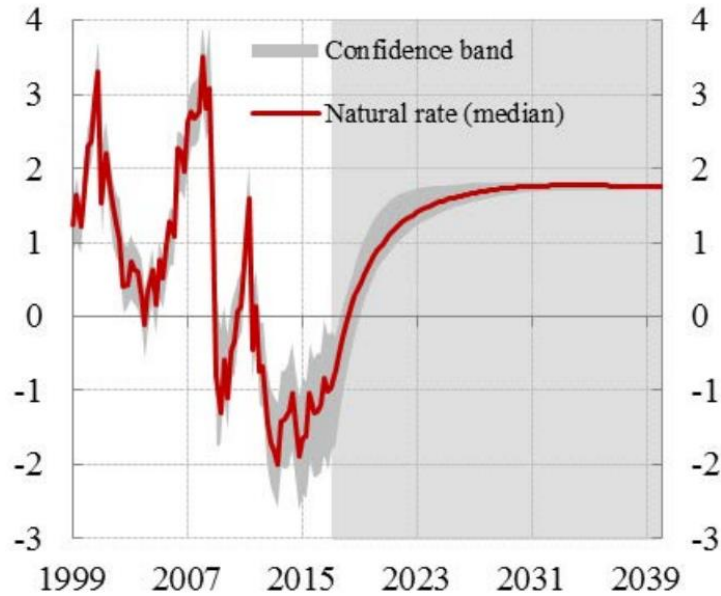


Figura 6. Estimaciones del Modelo de Haavio et al. (2017)

4.5 Estimaciones de Gerali & Neri

Gerali y Neri estudian en 2018 la tasa de interés natural en la zona euro utilizando un modelo keynesiano similar al de Smets y Wouters (2003), pero sin rigidez salarial nominal ni utilización variable de la capacidad. Su modelo incluye shocks estacionarios y no estacionarios y se estima mediante técnicas Bayesianas.

Una contribución importante de su trabajo es la inclusión de shocks de prima de riesgo para capturar los cambios en la preferencia de los hogares por activos seguros y la eficiencia de la inversión. Los autores encuentran que estos shocks son los que más explican los movimientos de la tasa de interés natural en la zona euro.

El modelo se basa, como otros mencionados anteriormente, en la descomposición de Laubach y Williams (2003) de la tasa de interés natural, pero añade estructura adicional. En estado estacionario, la tasa de interés natural es constante y depende de la productividad y la relación entre consumo y deuda. Fuera del estado estacionario, la tasa se ve afectada por todos los shocks que influyen en el crecimiento del consumo y por la prima de riesgo. La evolución de la tasa de interés neutral estimada por el modelo de Gerali & Neri se puede observar en la figura 7.

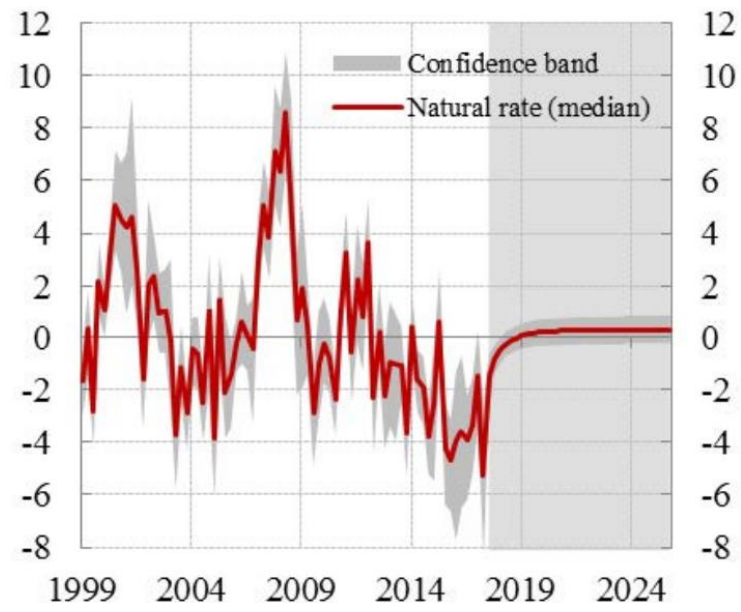


Figura 7. Estimaciones del Modelo de Gerali & Neri (2018)

5. Explicación del *Dataset*

Entender completamente el conjunto de datos es esencial para desarrollar un modelo preciso. Cada variable aporta información importante que influye en la determinación de la tasa de interés neutral, aunque luego se realizará un *t-test* para verificar la significación de estas. Profundizar en la comprensión de cada variable ayuda a identificar patrones significativos y a construir modelos econométricos sólidos. Esto garantiza que el análisis sea confiable y relevante para la toma de decisiones económicas. Las variables utilizadas son las siguientes:

- **Fecha “Date”:** Esta variable representa la fecha en la que se registraron los datos, en frecuencia trimestral desde 1959 hasta Q4’2023. Permite identificar patrones y tendencias en la relación entre las variables a lo largo del tiempo y es crucial para capturar cambios en la economía y en la política monetaria.
- **Producto Interior Bruto “gdp.log”:** Es el logaritmo del PIB real, expresado en miles de millones de dólares y calculado utilizando una metodología llamada “*chain-weighted*”. Esta metodología, en lugar de utilizar un año base fijo, como se hace en el método tradicional, ajusta continuamente la ponderación de los diferentes componentes de un índice para reflejar las fluctuaciones en los patrones de gasto y de bienes y servicios, eso sí, utilizando 1996 como referencia de la medida de dólares. Esto ayuda a proporcionar una medida más precisa de la variación de precios o de cantidad a lo largo del tiempo. Además, hemos utilizado el logaritmo para suavizar el crecimiento exponencial del PIB, permitiendo un mejor análisis de sus tendencias a largo plazo.
- **Inflación “inflation”:** Se refiere a la tasa de inflación anualizada y trimestral del índice de precios de gastos de consumo personal o *Personal Consumption Expenditures* (PCE), excluyendo alimentos y energía. También se conoce como inflación subyacente o *core*, y se utiliza en vez de la inflación general porque esta última puede ser más volátil debido a fluctuaciones en los precios de la energía y los alimentos.
- **Expectativas de Inflación “inflation.expectations”:** Representa la expectativa de inflación promedio para los próximos cuatro trimestres, calculada a partir de un modelo autorregresivo de orden 3, conocido como AR(3) de la inflación estimada utilizando los 40 trimestres previos a la fecha en la que construimos las expectativas.
- **Inflación del Petróleo “oil.price.inflation”:** Tasa de inflación o crecimiento del precio del petróleo crudo importado, anualizada y en frecuencia trimestral. Esta variable se incluye en el modelo porque indica variaciones en el precio de un insumo clave que puede afectar significativamente a la inflación general.
- **Inflación de las Importaciones “import.price.inflation”:** Representa la tasa de crecimiento anualizada y trimestral del precio de importación de bienes no

petroleros. A partir de 1968, se excluyen los precios de ordenadores y semiconductores.

- **Tipo de Interés “interest”:** Tasa de interés nominal anualizada de los fondos federales calculada como el promedio de los valores mensuales conocida como *Fed Funds Rate*. Antes de 1965, esta tasa de fondos federales se encontraba en muchas ocasiones por debajo de la tasa de descuento; por esto, para periodos antes de 1965 utilizaremos la tasa de descuento del Banco de la Reserva Federal de Nueva York.

6. Desarrollo del Modelo

Para poder desarrollar un modelo que sea capaz de estimar la Tasa Natural de Interés (TNI) en base al *dataset* recopilado, vamos a comenzar con la selección de datos históricos de tasa de interés e inflación, dos variables fundamentales para nuestro análisis. A partir de estos datos, calculamos una nueva variable, la inflación esperada, utilizando una media móvil de la inflación de los últimos cuatro trimestres. De este modo, estaremos suavizando las fluctuaciones a corto plazo y proporcionando una estimación más precisa y estable de la inflación futura, lo que es imprescindible para obtener un tipo de interés realista. A continuación, determinamos el tipo de interés real *ex ante*, que se obtiene restando la nueva inflación esperada de la tasa de interés nominal de la que ya disponemos en nuestro *dataset*. Consecuentemente, conseguimos así ajustar el coste del dinero considerando la inflación anticipada, lo que nos permite llevar a cabo un análisis económicamente riguroso.

En segundo lugar y, siguiendo el trabajo relevante de Gómez Hurtado en 2021, aplicamos el filtro de Hodrick-Prescott (HP) a los datos ya procesados, una herramienta macroeconómica realmente eficaz a la hora de descomponer una serie temporal en una tendencia a largo plazo y un componente cíclico. Por este motivo, dicho filtro es particularmente útil en este contexto ya nos que permite separar los movimientos estructurales de la economía, representados por la tendencia, de las fluctuaciones temporales, capturadas en el componente cíclico. Como estamos tratando con una base de datos que recoge valores trimestrales, seleccionamos un parámetro de suavizado específico ($\lambda = 1600$) que ofrece un equilibrio perfecto entre la suavización de la serie y la conservación de las variaciones cíclicas significativas. Tras aplicar el filtro HP, obtenemos tanto los valores estimados para la TNI, representando la tendencia, como el componente cíclico de la serie. Finalmente, también debemos generar una secuencia de fechas correspondiente a los trimestres del periodo analizado, ya que dicha serie temporal será fundamental para la visualización óptima de los datos, permitiendo alinear correctamente las estimaciones de la TNI y los ciclos con sus respectivas fechas.

Por último, para visualizar los resultados, creamos un gráfico de líneas que muestra la TNI estimada junto con su componente cíclico. Además, podemos recurrir a técnicas de visualización avanzadas para hacer el gráfico más informativo y profesional: por ejemplo, agregamos una banda de confianza del 10% alrededor de la tendencia de la TNI para reflejar la incertidumbre en la estimación. Esta banda de confianza se calcula suponiendo un margen de error fijo, lo que proporciona un contexto adicional sobre la precisión de nuestras estimaciones. Además, añadimos anotaciones para destacar eventos históricos relevantes, como crisis económicas, que pueden haber influido significativamente en las

fluctuaciones de la TNI y consecuentemente, ayudan a contextualizar los datos y a entender mejor las dinámicas macroeconómicas (ver figura 8).

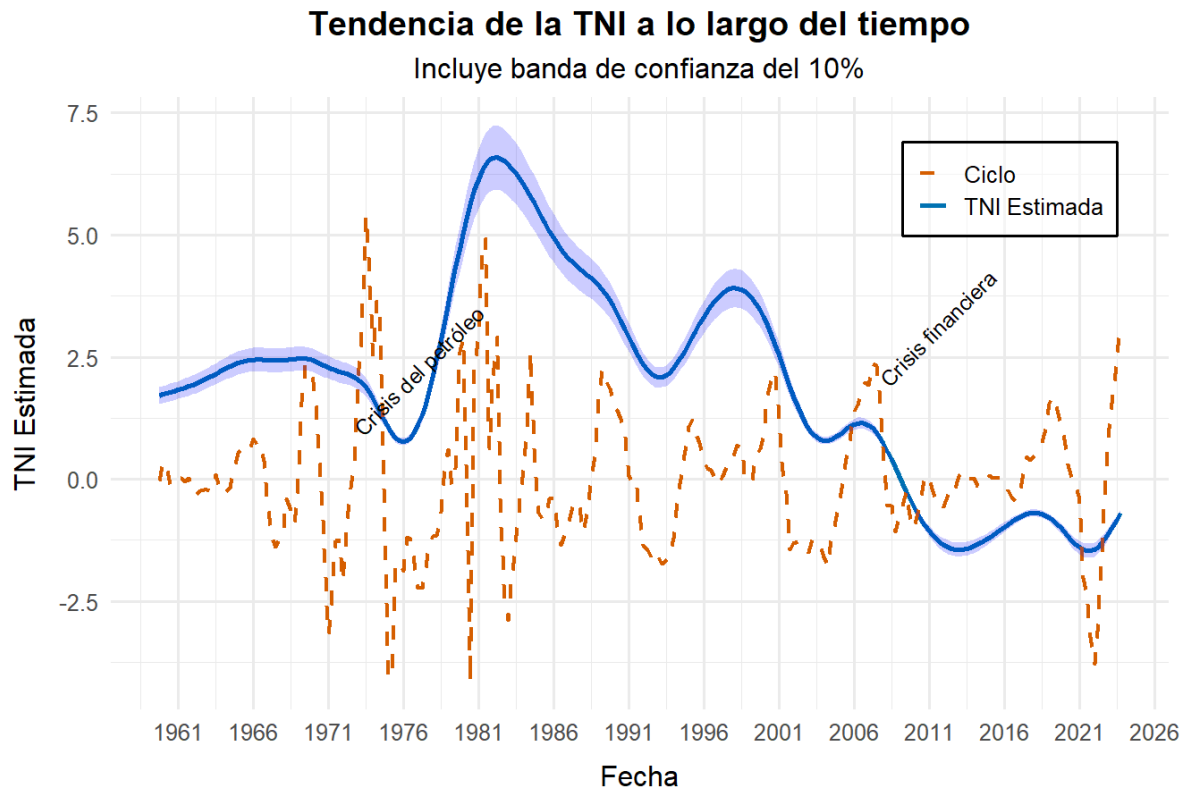


Figura 8. Resultados de la Tendencia de Tasa Natural de Interés

7. Interpretación del Modelo

7.1 Análisis Temporal de la Tendencia y el Ciclo

Los valores estimados para la TNI y para el ciclo revelan tendencias y fluctuaciones significativas a lo largo del periodo analizado, influenciadas por una serie de eventos históricos y fenómenos económicos que a su vez reflejan la dinámica inherente del ciclo económico, atravesando diversas fases de expansión y consecutivas recesiones (Laubach et al., 2003).

Inicialmente, desde finales de la década de 1950 hasta mediados de la década de 1970, la TNI experimentó un crecimiento gradual, reflejando un periodo de expansión económica que se vio favorecido por la reconstrucción posterior a la Segunda Guerra Mundial y un entorno de estabilidad política y económica, lo que se manifiesta en unas oscilaciones moderadas del ciclo en torno a cero (Hamilton, 1983).

Sin embargo, la primera mitad de la década de 1970 marcó un punto de inflexión significativo debido a la crisis del petróleo. Los choques petroleros de 1973 y 1979, provocados por la OPEP, desencadenaron una serie de eventos que tuvieron un impacto sustancial en la economía mundial y, como consecuencia, en la TNI. Dichos eventos resultaron en una escalada de los precios del petróleo y una crisis energética global, lo que llevó a una desaceleración económica y un aumento de la inflación en muchas economías, especialmente en aquellas altamente dependientes del petróleo importado. Por ello, a partir de la década de 1970 se evidencia un cambio significativo en la amplitud de las fluctuaciones, con periodos de expansión seguidos de eventos que desencadenaron recesiones y una mayor incertidumbre económica a nivel mundial (Yergin, 1991).

A continuación, la década de 1980 estuvo marcada por una gran volatilidad económica, con la TNI alcanzando máximos históricos alrededor de 1981. Esta elevación se debió en parte a las políticas monetarias restrictivas implementadas para combatir la inflación generada por los choques petroleros (Bernanke et al., 1997). Además, factores como la escalada de la Guerra Fría, las crisis de deuda en América Latina y otros eventos geopolíticos contribuyeron a la incertidumbre económica y financiera. Posteriormente, hacia mediados de los años 80 y principios de los 90, la TNI experimentó una notable caída debido a las secuelas de la crisis del petróleo y las políticas monetarias restrictivas adoptadas para controlar la inflación. Consecuentemente, durante la década de 1980 y principios de la década de 1990, se registran fluctuaciones aún más pronunciadas, marcadas por una serie de políticas que, aunque destinadas a estabilizar los precios, también tuvieron el efecto de desacelerar la actividad económica y generar presiones sobre el empleo y el crecimiento. Sin embargo, a medida que avanzaba la década de 1990, la TNI comenzó a recuperarse gradualmente, impulsada por la estabilidad macroeconómica y las reformas estructurales en muchas economías.

Posteriormente, a finales de la década de 1990 y principios de la década de 2000, podemos observar un periodo de expansión marcado por un crecimiento económico sostenido, impulsado en parte por avances tecnológicos y la globalización de los mercados. Sin embargo, dicho auge fue seguido por la crisis financiera de 2008, que provocó las fluctuaciones más profundas y prolongadas registradas en el ciclo económico. Esta crisis, desencadenada por la burbuja inmobiliaria y el desequilibrio crediticio, resultó en una recesión global que afectó a prácticamente todas las economías del mundo y condujo a la TNI a alcanzar mínimos históricos tras la implantación de políticas monetarias expansivas para contrarrestar los efectos de la recesión global (Blinder, 2013). Desde entonces, la TNI ha mostrado una tendencia ascendente gradual, reflejando una recuperación económica sostenida y una mayor estabilidad en los mercados financieros.

7.2 Identificación de Factores Clave

Ahora bien, a raíz de los resultados aportados por el modelo desarrollado, debemos identificar qué factores han tenido mayor peso sobre la tendencia mayoritariamente descendente que ha experimentado la TNI desde 1980 hasta la actualidad.

En primer lugar, muchas economías avanzadas han experimentado un envejecimiento significativo de su población desde la década de 1980. Consecutivamente, una mayor proporción de personas mayores conlleva una tasa de ahorro más notable, ya que los individuos ahorran más para la jubilación; y una menor tasa de inversión, debido a la disminución de la fuerza laboral activa. Como consecuencia, la TNI se ha visto presionada a la baja. Además, la desaceleración del crecimiento de la productividad en las últimas décadas también ha contribuido a una TNI más baja, puesto que una productividad menor reduce el retorno esperado de las inversiones. Finalmente, la globalización y los avances tecnológicos también han jugado un papel importante: se ha logrado aumentar tanto la competencia como la eficiencia, lo que conlleva una mejoría en la productividad a la par que una reducción en los costes. Por todo ello, se ha generado un entorno que ha ayudado a contener los precios y que manifiesta una menor inflación y menores tasas de interés (Gordon, 2016).

Por otro lado, a partir de la década de 1980, muchos bancos centrales adoptaron políticas monetarias más restrictivas para combatir la alta inflación. Aunque dichas políticas, lideradas por la Reserva Federal bajo Paul Volcker, llevaron inicialmente a tipos más altos, las tasas de interés reales comenzaron a disminuir una vez controlada la inflación. Adicionalmente, las grandes reducciones de impuestos y aumentos del gasto en los años 2000, seguidas de medidas de austeridad post-crisis de 2008, han contribuido también a la tendencia de la TNI durante las últimas décadas. En cuanto a la crisis financiera global de 2008, dicho evento hizo que la aversión al riesgo aumentara significativamente, mientras que la inversión privada se contrajo (Fernald, 2014). Consecutivamente, las políticas monetarias extremadamente expansivas, como las tasas

Andreu, P. S.

de interés cercanas a cero y la flexibilización cuantitativa, también han mantenido la TNI en niveles históricamente bajos. Al fin y al cabo, las recesiones tienden a bajar la TNI debido a la reducción de la demanda agregada y la inversión, mientras que las recuperaciones económicas la aumentan.

Por último, en cuestión de expectativas, la credibilidad ganada por los bancos centrales en su lucha contra la inflación en los años 1980 y 1990 ha permitido crear unas expectativas sólidas y estables que han reducido la volatilidad y ha generado un entorno con políticas monetarias más estables y unas tasas de interés más bajas. Adicionalmente, el cambio hacia sectores disruptivos tales como las energías renovables pueden tener impactos diversos sobre la TNI: aunque la inversión en nuevas tecnologías puede disparar la tasa natural de interés, la incertidumbre y el coste de transición puede reducirla considerablemente.

8. La Regla de Claudia Sahm

8.1 Explicación y Reconocimiento

Uno de los objetivos de evaluar de la Tasa de Interés Neutral (TNI) y de este estudio es considerar el riesgo de recesión económica. Una herramienta clave para este propósito es la Regla de Claudia Sahm, una métrica desarrollada por la economista y ex asesora del Consejo de Asesores Económicos de la Casa Blanca.

La Regla de Sahm se centra en el desempleo como un indicador adelantado de recesión. Según esta regla, cuando la tasa de desempleo ajustada por factores estacionales aumenta en 50 puntos básicos (0.5%) o más por encima de su mínimo de los últimos 12 meses, la economía está probablemente entrando en recesión. Este aumento en el desempleo actúa como una señal de advertencia sobre el cambio de una fase de expansión a una fase de recesión (Mayor T, 2024).

La regla se basa en datos históricos y ha demostrado ser un indicador confiable de las recesiones pasadas en los Estados Unidos. Por ejemplo, durante la crisis financiera de 2008 y la recesión posterior, la Regla de Sahm habría proporcionado una señal temprana de la contracción económica inminente. Esta simplicidad y efectividad han llevado a economistas de renombre, como Paul Krugman, Premio Nobel de Economía, a elogiar la regla como "elegante en su simplicidad". Además, Anna Wong, economista jefe de EEUU en Bloomberg, y ha destacado la utilidad práctica de esta regla como instrumento para anticipar recesiones (Krugman P, 2022).

En el contexto de la política monetaria, el *spread* o margen entre la Tasa de Interés Neutral y la Tasa de Interés Nominal juega un papel crucial. La Tasa de Interés Neutral representa el nivel de interés real que sería consistente con la plena utilización de los recursos de la economía y con una tasa de inflación estable. Este concepto es fundamental para los bancos centrales al establecer sus políticas monetarias, porque, como ya hemos mencionado, una tasa de interés superior a la TNI puede desacelerar la economía, mientras que una tasa inferior puede sobrecalentarla.

Actualmente, la Reserva Federal de Estados Unidos tiene fijada la Tasa de Interés Nominal en el 5.5%. La diferencia entre esta tasa y la Tasa de Interés Neutral indica el grado de restricción o estímulo que la política monetaria está imponiendo sobre la economía. Cuanto mayor sea esta distancia, mayor es el riesgo de que la economía entre en recesión. Esto se debe a que una tasa de interés significativamente por encima de la TNI puede reducir la inversión y el consumo, aumentando el desempleo y disminuyendo la producción económica (Curran E, 2023).

La Regla de Sahm puede ser aplicada para determinar el *spread* crítico a partir del cual el riesgo de recesión se incrementa significativamente. Utilizando esta regla, los economistas pueden identificar umbrales específicos en los cuales la política monetaria debería ajustarse para evitar una recesión. Este enfoque permite un *market timing*, es

Andreu, P. S.

decir, identificar el momento adecuado para ajustar políticas económicas antes de que una recesión se materialice.

La aplicación de la Regla de Sahm en este contexto se traduce en una metodología clara para medir el riesgo de recesión basado en el spread entre la Tasa de Interés Nominal y la Tasa de Interés Neutral. Si este spread supera ciertos niveles históricos considerados seguros, la regla sugiere que se deberían implementar medidas correctivas. Por ejemplo, si la tasa de interés nominal está significativamente por encima de la Tasa de Interés Neutral y la tasa de desempleo comienza a aumentar, la regla indicaría una alta probabilidad de recesión inminente.

Además de la política monetaria, la política fiscal juega un papel crucial en la estabilización económica. Los estabilizadores automáticos, como los impuestos progresivos y los beneficios por desempleo, ayudan a moderar las fluctuaciones económicas sin la necesidad de intervención adicional del gobierno. En combinación con la Regla de Sahm, estos estabilizadores pueden proporcionar una respuesta rápida y efectiva para mitigar los efectos de una recesión (Cox J, 2024).

Por ejemplo, durante una recesión, los ingresos fiscales disminuyen automáticamente debido a la caída de los ingresos y beneficios corporativos, mientras que los pagos por desempleo aumentan, proporcionando un estímulo fiscal sin la necesidad de nuevas leyes o medidas. Esto puede ayudar a sostener la demanda agregada y reducir la profundidad y duración de la recesión.

8.2 Aplicación de la Regla

Para ilustrar la aplicación práctica de la Regla de Claudia Sahm en el análisis económico, he preparado dos gráficos complementarios que proporcionan una visión completa de la evolución de los tipos de interés, la inflación, los periodos de recesión económica y los datos de empleo neto. Además, utilizaré el modelo desarrollado por Laubach y Williams con la herramienta de R para calcular la Tasa de Interés Neutral.

En primer lugar, la figura 9 muestra la evolución histórica de los tipos de interés nominales, la inflación y los periodos de recesión económica según el NBER (National Bureau of Economic Research). Los periodos de recesión se indican con bandas sombreadas, proporcionando un contexto visual claro de las fluctuaciones económicas. Además, se añaden barras que representan el cambio mensual en el empleo neto, con barras verdes para los meses de crecimiento del empleo y barras rojas para los meses con más despidos que nuevas contrataciones. Este aspecto visual es crucial, ya que se alinea con la metodología de Claudia Sahm para identificar recesiones mediante el aumento en la tasa de desempleo. Este gráfico permite observar cómo los cambios en los tipos de interés y la inflación se correlacionan con los periodos de recesión y la dinámica del mercado laboral.

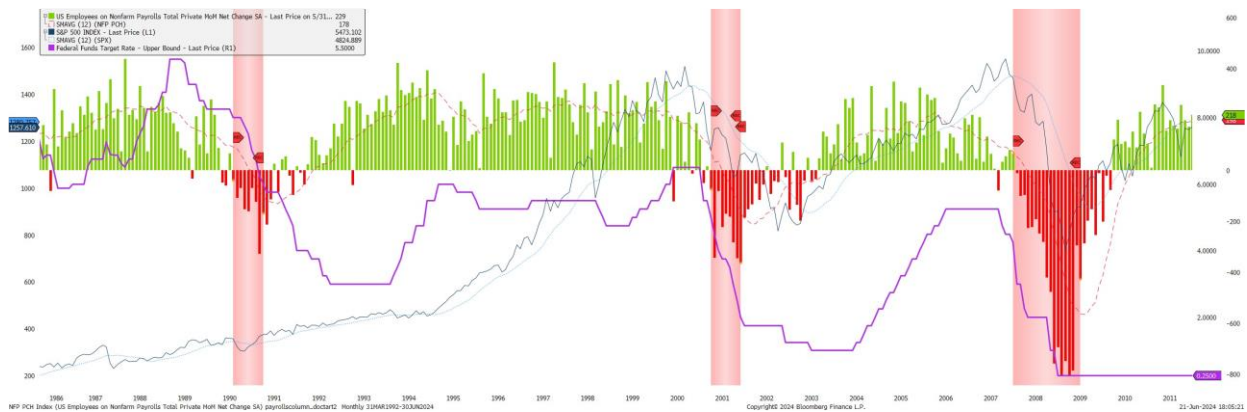


Figura 9. Evolución Histórica de Tipos, Inflación y Empleo

El segundo gráfico se centrará en la Tasa de Interés Neutral, calculada utilizando el modelo complejo desarrollado por John C. Williams y Thomas Laubach y teniendo en cuenta tanto las estimaciones *one-sided* (información histórica y presente) y las estimaciones *two-sided* (teniendo en cuenta proyecciones de variables futuras). Este modelo, nosotros lo hemos implementado en el software estadístico R (se puede encontrar en el Anexo 1), y estima la Tasa de Interés Neutral a lo largo del tiempo, es ampliamente reconocido por su precisión y relevancia en la política económica. Este modelo estima la Tasa de Interés Neutral mediante un enfoque de filtro de Kalman, que permite ajustar las estimaciones en tiempo real basándose en datos económicos actuales y pasados. Al superponer estos datos con los tipos de interés nominales y la inflación, se puede observar cómo la política monetaria se ha alineado o desviado de la Tasa de Interés Neutral en diferentes periodos (ver figura 10).

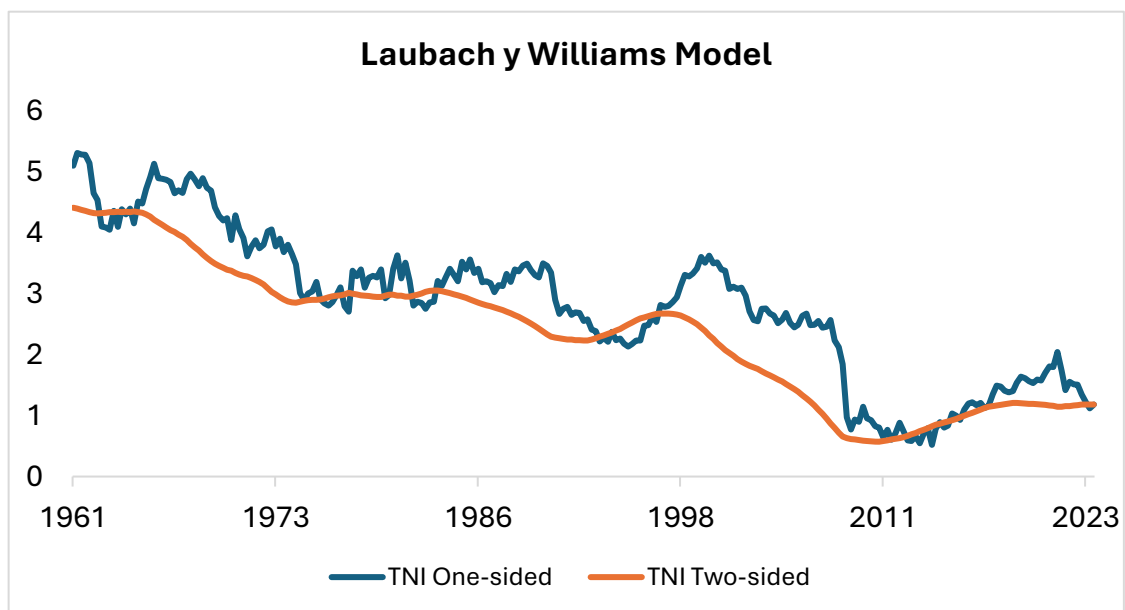


Figura 10. Resultados de la TNI Utilizando el Modelo de Laubach y Williams

9. Aplicación Práctica del Modelo

9.1 Política Monetaria

En primer lugar, la tasa natural de interés sirve como clara referencia para los bancos centrales de cara a implementar sus políticas monetarias, ya que una vez disponen de la TNI, los bancos pueden determinar si sus tasas de interés actuales están impulsando o frenando la economía: si la tasa de interés de mercado está por debajo de la TNI, esto indica que la economía probablemente esté recibiendo una ayuda adicional y por tanto exista un período de recesión. Por el contrario, si la tasa de interés está por encima de la TNI, se estaría implementando una política contractiva con el fin de controlar la inflación en una economía excesivamente activa y estimulada (Clarida et al., 2000). De este modo, podemos observar cómo la Reserva Federal de Estados Unidos se apoya en estimaciones de la TNI para ajustar sus propias tasas de interés, con el objetivo de alcanzar un correcto equilibrio entre el empleo total y la estabilidad de los precios. Por ejemplo, como hemos mencionado anteriormente, en la década de 1980 bajo el mandato de Paul Volcker, la Fed incrementó sus tasas de interés por encima de la TNI estimada para acabar con la alta inflación, logrando así reducir la inflación persistentemente alta.

9.2 Evaluación de Riesgos Económicos

Por otro lado, la TNI es una herramienta verdaderamente útil para anticipar cambios en el ciclo económico, puesto que observar una tendencia en descenso de la TNI puede indicar una disminución en el crecimiento potencial de la economía, mientras que una tendencia positiva y creciente de la TNI puede reflejar una expansión futura. De este modo, los analistas económicos y responsables de implementar las políticas monetarias pueden recurrir a este tipo de señales para preparar respuestas adecuadas. Por ejemplo, durante la crisis financiera de 2008, los bancos centrales observaron una disminución drástica de la TNI, símbolo de una recesión severa (Obstfeld & Rogoff, 2009). Consecuentemente, los bancos respondieron aplicando políticas monetarias expansivas tales como la reducción de las tasas de interés a niveles cercanos a cero, evitando así que los países entrasen en una depresión económica todavía más pronunciada y consiguiendo estabilizar los mercados financieros (Reinhart & Rogoff, 2009).

9.3 Planificación Financiera y Empresarial

En tercer lugar, las propias empresas pueden también utilizar las proyecciones de la TNI para organizar y planificar sus inversiones y estrategias de financiación: si existe un entorno de tasas de interés bajas, generalmente asociadas con una TNI baja, las empresas podrán aprovecharse de una financiación más barata para sus proyectos de expansión o inversión de capital. Sin embargo, si estamos ante una situación de tasas de interés altas, las empresas pueden adoptar la iniciativa de reducir su endeudamiento o incluso retrasar inversiones significativas (Myers & Majluf, 1984). Por ejemplo, durante el periodo posterior a la crisis del 2008 donde las tasas de interés eran bajas, numerosas empresas pioneras en esta iniciativa aprovecharon el bajo coste del crédito tanto para

refinanciar sus deudas como para financiar nuevas inversiones. Más concretamente, el sector tecnológico aprovechó el momento para impulsar significativamente sus inversiones en investigación y desarrollo, capitalizando las condiciones favorables para la expansión y la innovación.

9.4 Inversiones Financieras

Siguiendo esta línea, otros sujetos tales como los gestores de fondos y otros inversores institucionales pueden de la misma manera ajustar sus carteras apoyándose en las estimaciones de la tasa natural de interés: una TNI alta conlleva un entorno de tasas de interés altas, sugiriendo a su vez que los bonos sean más atractivos en comparación con las acciones debido a los mayores rendimientos. Por el contrario, una TNI baja puede implicar que sería más favorable incrementar el peso de tus inversiones en acciones y otros activos de mayor riesgo con el objetivo de encontrar mayores retornos (Sharpe, 1964). Actualmente, los fondos de pensiones y otros inversores a largo plazo ajustan sus carteras para equilibrar riesgo y retorno en función de la situación económica que se dé en un periodo en concreto; cuando predominen las tasas de interés bajas, dichos inversores pueden aumentar su exposición al riesgo de las acciones con el fin de lograr los retornos necesarios para cumplir con sus obligaciones a largo plazo, mientras que en un periodo de tasas altas, es preferible la elección de bonos y otros instrumentos de renta fija.

9.5 Implicaciones para el Crecimiento Económico

En quinto lugar, desarrollar una correcta estimación de la TNI permite a los países implementar una estrategia que sea capaz de fomentar un crecimiento económico sostenible y evitar desequilibrios macroeconómicos. Esto lo hacen manteniendo las tasas de interés alineadas con la TNI de tal manera que los bancos centrales contribuyan a estabilizar la economía y promover un crecimiento a largo plazo. Más concretamente, este método resulta verdaderamente útil en los países emergentes, donde mantener una tasa de interés adecuada en relación con la TNI es imprescindible para atraer inversión extranjera directa, ya que al conseguir una tasa de interés bien ajustada conseguimos también reducir considerablemente la volatilidad económica y proporcionar un entorno más predecible para los inversores (Romer, 1990).

9.6 Política Fiscal

Por último, la estimación de la tasa natural de interés proporciona un punto de referencia para la coordinación óptima de políticas fiscales y monetarias, ya que con ella los gobiernos también pueden diseñar sus políticas fiscales para complementar la labor de los bancos centrales, generando así un enfoque más completo y efectivo para gestionar la economía de un país. De este modo, en caso de hallarse en una fase de tasas de interés bajas, los gobiernos pueden activar sus propias palancas a través del aumento del gasto público o la reducción de los impuestos, impulsando así la economía sin necesidad de incrementar considerablemente el coste de la deuda (Blanchard & Perotti, 2002).

Andreu, P. S.

Concretamente, esta estrategia fue exitosamente implementada durante la crisis financiera de 2008, en la que numerosos gobiernos aplicaron herramientas de estímulo fiscal para combinar sus medidas con las de los bancos centrales, que llevaban políticas monetarias expansivas.

10. Limitaciones del Modelo

10.1 Sensibilidad a Supuestos Modelísticos

En primer lugar, el modelo de estimación de la TNI se ve expuesto al efecto de los supuestos modelísticos, es decir, ciertas suposiciones que se dan por confirmadas y que, en caso de su modificación, podrían alterar los resultados del modelo. Más concretamente, la TNI se basa en teorías económicas que incluyen hipótesis sobre la estructura económica y la función de producción, entre otras. De este modo, la modificación de estas suposiciones acerca de supuestos como la tasa de preferencia temporal de los consumidores podría tener un impacto considerable en la variabilidad del modelo y por consiguiente, en las estimaciones de la TNI (Woodford, 2003). Por todo ello, podríamos afirmar que la exactitud y precisión de los resultados de dicho modelo se ven impactados por la plena dependencia de supuestos meramente teóricos.

10.2 Dificultad para Medir la TNI

Por otro lado, debemos ser conscientes de que la tasa natural de interés constituye un tipo de variable no observable que debe ser siempre estimada de manera indirecta a través de la aplicación de ciertos filtros que inevitablemente incluyen un cierto grado de incertidumbre en las estimaciones, en nuestro caso, el filtro de Hodrick-Prescott. En otras palabras, podría decirse que la TNI está sujeta al criterio y la subjetividad de aquel que desarrolla el modelo, ya que esta persona diseñará la relación entre la tasa de interés y el resto de variables vinculadas al equilibrio económico a largo plazo (Laubach & Williams, 2003). Como consecuencia, este modelo de estimación de la TNI está expuesto a errores de medición y requiere una comprobación continua a medida que se actualiza la base de datos o se modifica una parte del desarrollo del modelo.

10.3 Impacto de Choques Externos

Adicionalmente, la estimación de la TNI puede verse distorsionada por impactos externos no esperados tales como crisis financieras, cambios drásticos en la política fiscal y monetaria global o incluso pandemias, como hemos podido comprobar. Dichos eventos de naturaleza fortuita pueden alterar los resultados obtenidos del modelo y reflejar una aparente TNI observada que difiere considerablemente de la tasa natural de interés estructural o de largo plazo. Por ejemplo, la crisis petrolera mencionada anteriormente e iniciada en 1970 y la crisis financiera de 2008 generaron efectos significativos en la economía que modificaron las estimaciones de la TNI (Bernanke et al., 2001). Consecuentemente, estos choques externos incrementan la volatilidad del modelo y reducen su confiabilidad, ya que pueden confundir a los bancos centrales y motivarlos a que adopten políticas monetarias que serían menos efectivas o incluso contraproducentes.

10.4 Variabilidad Temporal

Por último, no podemos olvidarnos de que con este modelo tratamos de estimar una variable que es dinámica a lo largo del tiempo y se ve altamente afectada por factores estructurales que evolucionan con los años tales como el nivel demográfico, el crecimiento de la productividad y las prioridades y gustos de los consumidores y empresas. De este modo, es extremadamente complejo obtener un modelo que estime una TNI que refleje a la perfección los cambios disruptivos que se producen en la economía tanto a nivel macro como a nivel micro. Al fin y al cabo, se considera un reto incluso para la inteligencia artificial el ser capaz de captar y ajustar constantemente las estimaciones de la TNI de acuerdo con factores dinámicos tales como el grado de envejecimiento de la población o la entrada de nuevas tecnologías al mercado. (Holston et al., 2017).

11. Mejora y Complementación del Modelo

11.1 Uso de Datos de Alta Frecuencia

De cara a perfeccionar la precisión de las estimaciones de la TNI, en primer lugar, podemos ir actualizando el modelo con datos de alta frecuencia que aportan una visión más actualizada y dinámica de los cambios constantes a los que se encuentra expuesta la economía, y entre los que encontramos los rendimientos de los bonos del tesoro y las encuestas de expectativas de inflación, entre otros. De este modo, dichos datos nos permiten obtener una imagen más precisa y fiable de la situación económica actual a la vez que facilitan la modificación instantánea a partir de pequeños ajustes que van surgiendo de manera imprevista pero que son necesarios para evitar que el modelo acabe obsoleto.

11.2 Integración de Modelos Estructurales y No Estructurales

Por otro lado, y partiendo de la base de que estamos tratando con un modelo puramente estructural que, como ya hemos comentado previamente, depende significativamente de diversos supuestos teóricos, resultaría interesante probar a combinar dicho enfoque con un modelo no estructural que se base simplemente en la evolución histórica de los datos y variables previamente seleccionadas sin tener en cuenta la estructura teórica que sustenta dicho comportamiento (Hamilton, 2018). De este modo, utilizando técnicas no estructurales tales como el filtrado de series temporales estaríamos consiguiendo capturar tanto las tendencias con visión a largo plazo como la dinámica del corto plazo, obteniendo así una perspectiva más equilibrada y completa de la tasa natural de interés.

11.3 Evaluación de Incertidumbre y Rango de Estimaciones

Por último, también nos encontramos con una iniciativa que ya hemos puesto en práctica en nuestro modelo mediante la incorporación de un rango de incertidumbre a través de una banda de confianza del 10% que se puede ver en la figura 8. En este caso, tratamos de sustituir una estimación puntual y absoluta de la TNI por un rango de óptimos relativos entre los que se pueden considerar varios valores para un mismo resultado de la tasa natural de interés y donde la amplitud depende de la evaluación de la incertidumbre elegida. De este modo, estaríamos facilitando a los bancos centrales y resto de sujetos implicados en la formulación de las políticas un mayor entendimiento del riesgo y volatilidad inherentes a dichas estimaciones y como consecuencia, dichos sujetos podrían desarrollar medidas más flexibles y con mayor capacidad de adaptación ante la entrada de nuevas fuentes de información o posibles cambios en las circunstancias económicas del momento (Clark & Kozicki, 2005).

12. Conclusiones

El estudio realizado sobre la Tasa de Interés Neutral (TNI) y su influencia en la política monetaria ha arrojado varios hallazgos clave:

- **Tendencias Históricas y Fluctuaciones:** A lo largo del periodo analizado, la TNI ha mostrado variaciones significativas influenciadas por eventos históricos y económicos. Desde la década de 1950 hasta los años 70, la TNI experimentó un crecimiento constante debido a la expansión económica post-Segunda Guerra Mundial. Sin embargo, los choques petroleros de la década de 1970 marcaron un punto de inflexión, generando una alta volatilidad y fluctuaciones en la TNI
- **Impacto de las Políticas Monetarias y Económicas:** Las políticas monetarias restrictivas de los años 80, implementadas para combatir la inflación, llevaron a una elevación de la TNI. Durante las décadas siguientes, las políticas monetarias expansivas y las crisis económicas, como la crisis financiera de 2008, influyeron en la disminución de la TNI, que alcanzó mínimos históricos
- **Factores Clave en la TNI:** La tendencia descendente de la TNI desde 1980 se ha visto influenciada por factores como el envejecimiento de la población, la desaceleración del crecimiento de la productividad, la globalización y los avances tecnológicos. Las políticas monetarias y fiscales adoptadas tras la crisis de 2008, junto con una mayor aversión al riesgo y una inversión privada contraída, también han contribuido a esta tendencia
- **Aplicación de la Regla de Claudia Sahm:** La Regla de Claudia Sahm se ha identificado como una herramienta efectiva para predecir recesiones mediante el análisis del desempleo. La combinación de esta regla con la evaluación del spread entre la TNI y la tasa de interés nominal proporciona una metodología clara para anticipar y mitigar el riesgo de recesión
- **Política Fiscal y Estabilizadores Automáticos:** Los estabilizadores automáticos y las políticas fiscales han demostrado ser esenciales para moderar las fluctuaciones económicas, complementando la política monetaria en la mitigación de los efectos de las recesiones
- **Limitaciones y Futuras Mejoras:** El modelo desarrollado presenta limitaciones relacionadas con la sensibilidad a los supuestos modelísticos, la dificultad para medir la TNI, el impacto de choques externos y la variabilidad temporal. Se propone el uso de datos de alta frecuencia y la integración de modelos estructurales y no estructurales para mejorar las estimaciones

13. Declaración de Inteligencia Artificial

Por la presente, yo, Pablo Silvano Andreu Matas, estudiante de Grado en Administración y Dirección de Empresas y Business Analytics de la Universidad Pontificia Comillas, al presentar mi Trabajo Fin de Grado titulado "TIPO DE INTERÉS NEUTRAL EN ESTADOS UNIDOS", declaro que he utilizado la herramienta de Inteligencia Artificial Generativa ChatGPT u otras similares de IAG de código sólo en el contexto de las actividades descritas a continuación:

1. Referencias: Usado conjuntamente con otras herramientas, como Science, para identificar referencias preliminares que luego he contrastado y validado.
2. Interpretador de código: Para realizar análisis de datos preliminares.
3. Corrector de estilo literario y de lenguaje: Para mejorar la calidad lingüística y estilística del texto.
4. Revisor: Para recibir sugerencias sobre cómo mejorar y perfeccionar el trabajo con diferentes niveles de exigencia.
5. Traductor: Para traducir textos de un lenguaje a otro.

Afirmo que toda la información y contenido presentados en este trabajo son producto de mi investigación y esfuerzo individual, excepto donde se ha indicado lo contrario y se han dado los créditos correspondientes (he incluido las referencias adecuadas en el TFG y he explicitado para que se ha usado ChatGPT u otras herramientas similares). Soy consciente de las implicaciones académicas y éticas de presentar un trabajo no original y acepto las consecuencias de cualquier violación a esta declaración.

Fecha: 21/06/2024

Firma:



14. Bibliografía

Ajevskis V. (2018): The natural rate of interest: information derived from a shadow rate model, Latvijas Banka Working Paper, (2/2018).

Altavilla C. Burlon L. Giannetti M. & Holton S. (2021). Is there a zero lower bound? The effects of negative policy rates on banks and firms. *Journal of Financial Economics*.

Auerbach A. J. & Gorodnichenko Y. (2012). Fiscal Multipliers in Recession and Expansion. NBER Chapters, in: *Fiscal Policy after the Financial Crisis*, 63-98.

Barsky R. Justiniano A. & Melosi J. (2014). The Natural Rate of Interest and Its Usefulness for Monetary Policy. *American Economic Review*, vol. 104, No. 5, May 2014, pp. 37–43.

Bernanke B. S. & Mihov I. (1998). Measuring Monetary Policy. *The Quarterly Journal of Economics*, 113(3), 869-902.

Bernanke B. S. (2004). The Great Moderation. Remarks at the meetings of the Eastern Economic Association, Washington, DC.

Bernanke B. S. Gertler M. & Watson M. (1997). Systematic Monetary Policy and the Effects of Oil Price Shocks. *Brookings Papers on Economic Activity*, 1997(1), 91-157.

Bernanke B. S. Laubach T. Mishkin F. S. & Posen A. S. (2001). *Inflation Targeting: Lessons from the International Experience*. Princeton University Press.

Beyer R. & Wieland V. (2019). Instability, imprecision, and inconsistent use of equilibrium real interest rate estimates. *Journal of International Money and Finance* Volume 94, Pages 1-14.

Blanchard O. & Perotti R. (2002). An Empirical Characterization of the Dynamic Effects of Changes in Government Spending and Taxes on Output. *Quarterly Journal of Economics*, 117(4), 1329-1368.

Blanchard O. (2022). *Fiscal Policy Under Low Interest Rates*. MIT Press

Blanchard O. Eugenio C. & Summers H. (2015). Inflation and activity—Two explorations and their monetary policy implications, National Bureau of Economic Research, NBER Working Paper No. 21726.

Blinder A. S. (2010). Quantitative Easing: Entrance and Exit Strategies. *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, pp. 465-479.

Blinder A. S. (2013). *After the Music Stopped: The Financial Crisis, the Response, and the Work Ahead*. Penguin Press.

Bloom D. E. & Williamson J. G. (1998). Demographic Transitions and Economic Miracles in Emerging Asia. *The World Bank Economic Review*, 12(3), 419-455.

Andreu, P. S.

Brand C. & Mazelis F. (2018). Taylor-rule consistent Estimates of the Natural Rate of Interest, ECB Draft Paper.

Brand C. Bielecki M. & Penalver A. (2018). The Natural Rate of Interest: Estimates, Drivers, and Challenges to Monetary Policy.

Clarida R. Galí J. & Gertler M. (2000). Monetary Policy Rules and Macroeconomic Stability: Evidence and Some Theory. *Quarterly Journal of Economics*, 115(1), 147-180.

Clark T. E. & Kozicki S. (2005). Estimating Equilibrium Real Interest Rates in Real Time. *The North American Journal of Economics and Finance*, 16(3), 395-413.

Comunale M. & Striaukas J. (2017). Unconventional Monetary Policy: Interest Rates and Low Inflation: A Review of Literature and Methods. CORE Louvain DP, No. 2017/26, September 2017. 54 p.

Correia I. Farhi E. Nicolini J. P. & Teles P. (2013). Unconventional Fiscal Policy at the Zero Bound. *American Economic Review*, 103(4), pp.1172–1211.

Cox J. (2024). The Fed is 'playing with fire' by not cutting rates, says creator of 'Sahm Rule' recession indicator. CNBC.

Cúrdia V. Andrea F. Ging C. & Andrea T. (2015). Has U.S. Monetary Policy Tracked the Efficient Interest Rate? *Journal of Monetary Economics*, 70, 72-83.

Curran E. (2023). Economist Behind Popular Recession Gauge Worries She Created a 'Monster'. Bloomberg UK.

Del Negro M. Giannone D. Giannoni M. & Tambalotti A. (2017). Safety, Liquidity, and the Natural Rate of Interest. *Brookings Papers on Economic Activity*, BPEA Conference Drafts, 23–24 March, 2017. 77 p.

Eggertsson G. B. Ragnar J. Summers L. H. & Ella G. W. (2023). Negative Nominal Interest Rates and the Bank Lending Channel. *The Review of Economic Studies*.

Federal Reserve. (n.d.). Historical data on interest rates. Federal Reserve.

Fernald J. G. (2014). Productivity and Potential Output before, during, and after the Great Recession. Federal Reserve Bank of San Francisco Working Paper.

Florentini G. Galesi A. Perez-Quirós G. & Sentana E. (2018). The rise and fall of the natural interest rate. Banco de España, Documentos de Trabajo.

Gerali A. & Neri S. (2018). Natural rates across the Atlantic, *Journal of Macroeconomics* (forthcoming).

Gertler M. & Karadi P. (2015). Monetary Policy Surprises, Credit Costs, and Economic Activity. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 7(1), pp.44–76.

Andreu, P. S.

Gómez Hurtado C. M. (2021). Tasa Natural de Interés. Facultad de Economía y Empresa Universidad de las Islas Baleares.

Goodhart C. Pratyancha P. & Manoj P. (2015): Workers vs pensioners: the battle of our time, Prospect Magazine, 12.

Gordon R. J. (2016). The Rise and Fall of American Growth: The U.S. Standard of Living since the Civil War. Princeton University Press.

Gordon R. J. (2017). The rise and fall of American growth: The US standard of living since the civil war, Princeton University Press.

Haavio M. Michel J. & Julien M. (2017). Natural rate of interest in the euro area. A DSGE framework with financial frictions, Banque de France Draft Paper.

Hamilton J. D. (1983). Oil and the Macroeconomy since World War II. Journal of Political Economy, 91(2), 228-248.

Hamilton J. D. (2013). Historical Oil Shocks. In Handbook of Major Events in Economic History, pp. 239-265.

Hamilton J. D. (2018). Why You Should Never Use the Hodrick-Prescott Filter. Review of Economics and Statistics, 100(5), 831-843.

Hamilton J. D. Harris E. S. Haztius J. & West K. D. (2015). The Equilibrium Real Funds Rate: Past, Present and Future. NBER Working Paper, No. 21476, August 2015. 82 p.

Holston K. Laubach T. & Williams J. C. (2017). Measuring the natural rate of interest: International trends and determinants. Journal of International Economics, Volume 108, Supplement 1, May 2017, Pages S59-S75

König P. & Chervyakov D. (2017). The Natural Rate of Interest I: Theory.

Krugman P. (2022). Opinion | Recession: What Does It Mean? The New York Times.

Laubach T. & Williams J. C. (2003). Measuring the Natural Rate of Interest. The Review of Economics and Statistics, 85(4), 1063-1070.

Mankiw N. G. (2019). Macroeconomics. Worth Publishers.

Mayor T. (2024). Economist Claudia Sahm has a better way to handle recessions | MIT Sloan.

Mishkin F. S. (2007). Monetary Policy Strategy. MIT Press.

Modigliani F. & Miller M. H. (1958). The Cost of Capital, Corporation Finance and the Theory of Investment. American Economic Review, 48(3), 261-297.

Andreu, P. S.

Myers S. C. & Majluf N. S. (1984). Corporate Financing and Investment Decisions When Firms Have Information That Investors Do Not Have. *Journal of Financial Economics*, 13(2), 187-221.

Neiss K. & Nelson E. (2001). The real interest rate gap as an inflation indicator. *RePEc – Econpapers*.

Obstfeld M. & Rogoff K. (2009). Global Imbalances and the Financial Crisis: Products of Common Causes. *Asia Economic Policy Conference, Federal Reserve Bank of San Francisco*.

OECD. (2021). *Economic Outlook*. OECD Publishing.

Reinhart C. M. & Rogoff K. S. (2009). *This Time is Different: Eight Centuries of Financial Folly*. Princeton University Press.

Rey H. (2016). International Channels of Transmission of Monetary Policy and the Mundellian Trilemma. *IMF Economic Review*, 64(1), 6-35.

Romer P. M. (1990). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 98(5), S71-S102.

Schumpeter J. A. (1939). *Business Cycles: A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process*. McGraw-Hill Book Company.

Sharpe W. F. (1964). Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium Under Conditions of Risk. *Journal of Finance*, 19(3), 425-442.

Smets F. & Wouters R. (2002). An Estimated Dynamic Stochastic General Equilibrium Model of the Euro Area. *SSRN Electronic Journal*.

Solow R. M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94.

Summers L. H. (2015). Demand Side Secular Stagnation. *American Economic Review*, 105(5), pp.60–65.

Taylor J. B. (1993). Discretion versus Policy Rules in Practice. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, 39, 195-214.

Taylor J. B. (2009). *The Financial Crisis and the Policy Responses: An Empirical Analysis of What Went Wrong*. NBER Working Paper No. 14631. National Bureau of Economic Research.

Volcker P. A., & Gyohten, T. (1992). *Changing Fortunes: The World's Money and the Threat to American Leadership*. Times Books.

Woodford M. (2003). *Interest and Prices: Foundations of a Theory of Monetary Policy*. Princeton University Press.

Andreu, P. S.

Woodford M. (2003). Optimal Interest-Rate Smoothing. *The Review of Economic Studies*, 70(4), pp.861–886.

Yergin D. (1991). *The Prize: The Epic Quest for Oil, Money, and Power*. Simon & Schuster.

15. Anexo

14.1 Anexo 1: Código de R Utilizado de Laubach y Williams

```
##-----##  
## File:    run.lw.R  
##  
## Description: This the main file for LW, which runs the three-stage LW estimation  
##          for each economy and saves output.  
##-----##  
  
rm(list=ls())  
  
##-----##  
## Load required packages and source all programs to be used in HLW estimation.  
##-----##  
if (!require("tis")) {install.packages("tis"); library("tis")} ## Time series package  
if (!require("nloptr")) {install.packages("nloptr"); library("nloptr")} ## Optimization  
  
## Source all R programs  
source("calculate.covariance.R")  
source("format.output.R")  
source("kalman.log.likelihood.R")  
source("log.likelihood.wrapper.R")  
source("utilities.R")  
source("kalman.standard.errors.R")  
source("kalman.states.R")  
source("kalman.states.wrapper.R")  
source("median.unbiased.estimate.stage1.R")  
source("median.unbiased.estimate.stage2.R")  
source("rstar.stage1.R")
```

Andreu, P. S.

```
source("rstar.stage2.R")
```

```
source("rstar.stage3.R")
```

```
source("unpack.parameters.stage1.R")
```

```
source("unpack.parameters.stage2.R")
```

```
source("unpack.parameters.stage3.R")
```

```
##-----##
```

```
## Define variables
```

```
##-----##
```

```
## Upper bound on a_3 parameter (slope of the IS curve)
```

```
a.r.constraint.stage2 <- -0.0025
```

```
a.r.constraint.stage3 <- -0.0025
```

```
## Lower bound on b_2 parameter (slope of the Phillips curve)
```

```
b.y.constraint.stage1 <- NA
```

```
b.y.constraint.stage2 <- 0.025
```

```
b.y.constraint.stage3 <- 0.025
```

```
## Set the start and end dates of the estimation sample as well as the data start date  
(format is c(year,quarter))
```

```
data.start <- c(1948,1)
```

```
sample.start <- c(1961,1)
```

```
sample.end <- c(2019,2)
```

```
## The estimation process uses data beginning 8 quarters prior to the sample start
```

```
est.data.start <- shiftQuarter(sample.start,-8)
```

Andreu, P. S.

```
## Set start index for y for initialization of state vector
```

```
g.pot.start.index <- 1 + ti(shiftQuarter(sample.start,-3),'quarterly')-  
ti(est.data.start,'quarterly')
```

```
## Set column names for CSV output
```

```
output.col.names <- c("Date","rstar (filtered)","g (filtered)","z (filtered)","output gap  
(filtered)","","All results are output from the Stage 3 model.",rep("",12),"Standard  
Errors","Date","y*","r*","g",",",",rrgap",",",",Date","rstar (smoothed)","g (smoothed)","z  
(smoothed)","output gap (smoothed)")
```

```
## Set number of iterations for Monte Carlo standard error procedure
```

```
niter <- 5000
```

```
## Because the MC standard error procedure is time consuming, we include a run switch
```

```
## Set run.se to TRUE to run the procedure
```

```
run.se <- TRUE
```

```
##-----##
```

```
## Read in data and compute inflation expectations series
```

```
##-----##
```

```
data <- read.table("LW_input_data.csv",  
                 sep=',',header=TRUE,stringsAsFactors=FALSE, na.strings=".")
```

```
## Get series beginning in data.start
```

```
log.output.all <- tis(data$gdp.log, start=data.start, tif='quarterly')
```

```
inflation.all <- tis(data$inflation, start=data.start, tif='quarterly')
```

```
relative.oil.price.inflation.all <- tis(data$oil, start=data.start,  
                                       tif='quarterly') - inflation.all
```

Andreu, P. S.

```
relative.import.price.inflation.all <- tis(data$import, start=data.start,
      tif='quarterly') - inflation.all
nominal.interest.rate.all      <- tis(data$interest, start=data.start, tif='quarterly')

inflation.expectations.all      <- tis(data$inflation.expectations, start=data.start,
      tif='quarterly')

## Get data in vector form beginning at est.data.start (set above)
log.output      <- as.numeric(window(log.output.all, start=est.data.start))
inflation      <- as.numeric(window(inflation.all, start=est.data.start))
relative.oil.price.inflation <- as.numeric(window(relative.oil.price.inflation.all,
      start=est.data.start))
relative.import.price.inflation <- as.numeric(window(relative.import.price.inflation.all,
      start=est.data.start))
nominal.interest.rate      <- as.numeric(window(nominal.interest.rate.all,
      start=est.data.start))

inflation.expectations      <- as.numeric(window(inflation.expectations.all,
      start=est.data.start))
real.interest.rate      <- nominal.interest.rate - inflation.expectations

##-----##
## Run estimation
##-----##

## Running the stage 1 model
out.stage1 <- rstar.stage1(log.output,
      inflation,
```

Andreu, P. S.

```
relative.oil.price.inflation,  
relative.import.price.inflation,  
b.y.constraint=b.y.constraint.stage1)
```

```
## Median unbiased estimate of lambda_g
```

```
lambda.g <- median.unbiased.estimator.stage1(out.stage1$potential.smoothed)
```

```
## Running the stage 2 model
```

```
out.stage2 <- rstar.stage2(log.output,  
inflation,  
relative.oil.price.inflation,  
relative.import.price.inflation,  
real.interest.rate,  
lambda.g,  
a.r.constraint=a.r.constraint.stage2,  
b.y.constraint=b.y.constraint.stage2)
```

```
## Median unbiased estimate of lambda_z
```

```
lambda.z <- median.unbiased.estimator.stage2(out.stage2$y, out.stage2$x)
```

```
## Running the stage 3 model
```

```
out.stage3 <- rstar.stage3(log.output,  
inflation,  
relative.oil.price.inflation,  
relative.import.price.inflation,  
real.interest.rate,  
lambda.g,  
lambda.z,
```

Andreu, P. S.

```
a.r.constraint=a.r.constraint.stage3,  
b.y.constraint=b.y.constraint.stage3,  
run.se)
```

```
##-----##
```

```
## Save output
```

```
##-----##
```

```
## One-sided (filtered) estimates
```

```
one.sided.est <- cbind(out.stage3$rstar.filtered,  
                      out.stage3$trend.filtered,  
                      out.stage3$z.filtered,  
                      out.stage3$output.gap.filtered)
```

```
## Two-sided (smoothed) estimates
```

```
two.sided.est <- cbind(out.stage3$rstar.smoothed,  
                      out.stage3$trend.smoothed,  
                      out.stage3$z.smoothed,  
                      out.stage3$output.gap.smoothed)
```

```
## Save output to CSV
```

```
output.us <- format.output(out.stage3, one.sided.est, two.sided.est, real.interest.rate,  
                           sample.start, sample.end, run.se = run.se)
```

```
write.table(output.us, 'LW_output.csv', col.names = output.col.names, quote=FALSE,  
            row.names=FALSE, sep = ',', na = '')
```