



# **Trazando los límites del capital y el trabajo: Producción eficiente, sostenible y equitativa en el panorama económico estadounidense de posguerra**

## **MU en Análisis Económico**

**Nombre del estudiante:** Daniel Alejandro Albuja Yépez

**E-mail:** dalbuja@uoc.edu

**Nombre del Tutor/a:** Xavier Farré

**Semestre:** 2023-2

## FICHA DEL TRABAJO FINAL

Título del trabajo:	<i>Trazando los límites del capital y el trabajo: Producción eficiente, sostenible y equitativa en el panorama económico estadounidense de posguerra</i>
Nombre del autor/a:	<i>Daniel Alejandro Albuja Yépez</i>
Nombre del tutor/a:	<i>Xavier Farré</i>
<b>¿Cuál o cuáles ODS (máximo dos) consideras que están más vinculados con tu trabajo</b>	<i>ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico ODS 12: Consumo y producción responsables</i>
<b>Resumen del trabajo (máximo 250 palabras):</b>	
<p>Esta investigación presenta el modelo I3EP (Producción Integrada, Eficiente, Ecológica y Equitativa), una innovación en la teoría de producción económica que integra restricciones de eficiencia, sostenibilidad ecológica y equidad social. El modelo se aplica para analizar la economía estadounidense desde 1950 hasta 2018, evaluando la producción óptima de capital y trabajo bajo diferentes escenarios teóricos y prácticos. El modelo I3EP aborda las limitaciones de la función de producción Cobb-Douglas, incorporando fricciones y restricciones reales en el uso de insumos a través de sus tres fronteras. La Frontera de Posibilidades de Producción de Factores (FPPF) considera ineficiencias tecnológicas y costos de transacción, mientras que la Frontera de Posibilidades Sostenibles (FPS) y el Piso Mínimo de Subsistencia (MSF) introducen restricciones ecológicas y sociales, respectivamente. La validación empírica del modelo utiliza datos históricos de capital y trabajo, ajustando los niveles óptimos teóricos mediante la media geométrica para alinearlos con las tendencias históricas. Los resultados muestran que el modelo I3EP proporciona información precisa y realista de la capacidad productiva de la economía, destacando la importancia de considerar factores ecológicos y sociales en la toma de decisiones económicas y políticas. La investigación concluye que el modelo I3EP no solo mejora la comprensión teórica de la producción económica, sino que también ofrece una herramienta práctica para evaluar políticas económicas, promoviendo un crecimiento sostenible y equitativo. Las recomendaciones para futuras investigaciones incluyen la aplicación del modelo a otras economías y la incorporación de más variables sociales y ecológicas para enriquecer el análisis.</p>	
<b>Abstract (in English, 250 words maximum):</b>	
<p>This research presents the I3EP (Integrated, Efficient, Ecological, and Equitable Production) model, an innovation in economic production theory that integrates efficiency, ecological sustainability, and social equity constraints. The model is applied to analyze the U.S. economy from 1950 to 2018, evaluating the optimal production of capital and labor under different theoretical and practical scenarios. The I3EP model addresses the constraints of the Cobb-Douglas production function, incorporating frictions and real constraints on input use across its three frontiers. The Factor Production Possibilities Frontier (FPPF) considers technological inefficiencies and transaction costs, while the Sustainable Possibilities Frontier (SPF) and the Minimum Subsistence Floor (MSF) introduce ecological and social constraints, respectively. Empirical validation of the model uses historical capital and labor data, adjusting the theoretical optimal levels by geometric mean to align with historical trends. The results show that the I3EP model provides accurate and realistic information on the productive capacity of the economy, highlighting the importance of considering ecological and social factors in economic and</p>	

political decision-making. The research concludes that the I3EP model not only improves the theoretical understanding of economic production, but also provides a practical tool for evaluating economic policies, promoting sustainable and equitable growth. Recommendations for future research include applying the model to other economies and incorporating more social and ecological variables to enrich the analysis.

Palabras clave (entre 4 y 8):

Modelo I3EP, Cobb-Douglas, Límites Productivos, Teoría Económica, Validación Empírica, Análisis Histórico, Economía Estadounidense.

## Índice

Capítulo 1: Introducción.....	5
Capítulo 2: Revisión bibliográfica .....	7
2.1. Introducción al Capítulo.....	7
2.2. Fundamentos teóricos de la modelización económica .....	8
2.3. Funciones económicas de producción.....	10
2.4. La función de producción Cobb-Douglas .....	14
2.5. La necesidad del modelo I3EP .....	21
Capítulo 3: Marco teórico y especificación del modelo.....	23
3.1. Introducción al Capítulo.....	23
3.2. Frontera de posibilidades de producción de los factores.....	23
3.3. Frontera de Posibilidades Sostenibles .....	33
3.4. Piso mínimo de subsistencia .....	37
3.5. Representación Gráfica de las fronteras FPPF, SPF, y MSF, y la función Cobb-Douglas..	40
3.6. Comentario final sobre el papel de $\varphi$ .....	42
3.7. Avances teóricos aportados por el modelo I3EP .....	44
Capítulo 4: Validación empírica .....	46
4.1. Introducción al Capítulo.....	46
4.2. Recogida y preparación de datos.....	47
4.3. Estimación de los niveles óptimos de capital, trabajo y producción.....	49
4.4. Presentación de los datos de la serie temporal del valor óptimo.....	52
Capítulo 5: Transformaciones Económicas de EE.UU. de 1950 a 2018.....	60
5.1. Introducción al Capítulo.....	60
5.2. Preparando el escenario: los años 50 y 60.....	61
5.3. La inestabilidad de los años 70 .....	68
5.4. Los transformadores años 80 y 90.....	75
5.5. 2000 en adelante: Nuevo milenio, y nuevos cambios .....	83
5.6. Históricos de capital, trabajo y producción vs. contrapartes calculadas .....	92
Capítulo 6: Discusión y conclusión.....	94
6.1. Recapitulando el modelo I3EP .....	94
6.2. Implicaciones políticas .....	96
6.3. Limitaciones del estudio.....	98
6.4. Recomendaciones para futuras investigaciones .....	100
6.5. Observaciones finales.....	101
Bibliografía.....	103
Anexo 1: Tabla Completa – Series temporales y cálculos .....	111

## Capítulo 1: Introducción

Las funciones de producción son fundamentales en la economía moderna ya que explican la relación entre factores de producción—principalmente trabajo y capital—y la generación de bienes y servicios. Son esenciales para modelar procesos económicos y permiten analizar y predecir el comportamiento económico bajo diversas condiciones. La precisión de estos modelos es crucial, ya que influyen en políticas económicas y estrategias empresariales, afectando desde la planificación económica nacional hasta decisiones de inversión corporativas.

Entre las diversas funciones de producción, el tipo “Cobb-Douglas” destaca por su simplicidad y solidez empírica. Introducida por Charles Cobb y Paul Douglas en la década de 1920, esta función se ha convertido en un pilar de la modelización económica gracias a su representación sencilla del proceso de producción. El modelo Cobb-Douglas postula que la producción es un producto del trabajo, el capital y la productividad total de los factores, con los primeros dos elevados a una potencia que representa sus respectivas elasticidades. Así, el uso extendido de la función Cobb-Douglas se debe a su flexibilidad empírica y facilidad de uso, ya que captura eficazmente la dinámica básica de la producción y se ha aplicado exitosamente en diversos sectores y economías. Adicionalmente, sus supuestos de rendimientos constantes a escala y la forma funcional de sustitución de factores han proporcionado una base sólida para el análisis económico. Además, su capacidad para ajustarse a datos del mundo real con técnicas de estimación de parámetros relativamente sencillas la ha convertido en una herramienta favorita entre los economistas.

Sin embargo, la función Cobb-Douglas presenta dos limitaciones críticas. Primero, y de manera similar a modelos de este tipo, asume que la producción puede crecer indefinidamente mientras haya insumos disponibles. Esto no refleja adecuadamente las restricciones reales que limitan la utilización de factores de producción. Y, segundo, no incorpora elementos ecológicos y sociales, cada vez más críticos en el análisis económico contemporáneo. Así, estos supuestos generan un modelo teórico que no refleja las complejidades de los sistemas económicos actuales, donde los recursos son continuamente más finitos, y la eficiencia es esencial en un mundo progresivamente complejo.

Para abordar estas limitaciones, este estudio busca responder ¿hasta qué punto el esquema Producción Integrada, Eficiente, Ecológica y Equitativa (I3EP) puede formalizar y explicar los niveles óptimos de trabajo, capital y producción, considerando las restricciones de eficiencia, ecológicas y sociales, en respuesta a las condiciones económicas cambiantes en los EE.UU. desde 1950 hasta 2018, a través de la introducción de la Frontera de Posibilidades de Producción de Factores (FPPF) y sus extensiones en la Frontera de Posibilidades Sostenibles (SPF) y el Piso Mínimo de Subsistencia (MSF)?

De este modo, argumentamos que el esquema I3EP afronta estas limitaciones mediante el desarrollo e incorporación de la FPPF y su extensión a la SPF y al MSF. Planteamos que el modelo I3EP formaliza y explica los niveles óptimos de trabajo, capital y producción a través de estas fronteras, considerando no solo los insumos y productos económicos tradicionales, sino también la

eficiencia, la sostenibilidad ecológica y la equidad social. En este sentido, al incorporar estas limitaciones, el esquema I3EP ofrece un análisis más completo de las condiciones económicas a lo largo del tiempo. Así, este modelo complementa la función tradicional Cobb-Douglas, tal y como se evidencia al analizar la producción económica en los Estados Unidos desde 1950 hasta 2018.

Esta investigación se organizó en varios capítulos tanto para responder esta pregunta, como elaborar dicho argumento de manera sistemática y estructurada. Primero, discutimos cómo el modelo I3EP mejora la función Cobb-Douglas respecto a las restricciones del mundo real que limitan la utilización de insumos. Esto se cubre en los capítulos de Revisión de la Literatura y Marco Teórico. Luego, se identifican los niveles óptimos de capital, trabajo y producción según el esquema I3EP para la economía estadounidense desde 1950 hasta 2018 en el capítulo de Validación Empírica. Finalmente, abordamos cómo han cambiado las productividades de los factores y las fricciones de producción, ecológicas y sociales en la economía de EE.UU. desde 1950 hasta 2018, y cómo el modelo I3EP refleja estos cambios en sus niveles óptimos de capital, trabajo y producción. Este análisis expone la capacidad del esquema para apoyar el análisis histórico y esclarecer el impacto de eventos clave en las dimensiones de eficiencia, ecológicas y sociales de la producción económica.

Considerando esto, a través de este estudio, pretendemos aportar una solución robusta a las limitaciones identificadas de la función Cobb-Douglas. Buscamos desarrollar y validar el modelo I3EP como una alternativa para abordar adecuadamente las restricciones del mundo real que limitan la utilización de los factores. Adicionalmente, estimamos empíricamente los niveles óptimos de capital, trabajo y producción en EE.UU. de 1950 a 2018, e identificamos y calculamos empíricamente la productividad del capital y del trabajo, así como las fricciones de producción, ecológicas y sociales en el mismo período, utilizando el esquema I3EP. A través de este análisis, pretendemos demostrar la capacidad de respuesta del modelo I3EP a los acontecimientos económicos en EE.UU. desde 1950 hasta 2018.

Abordar las limitaciones de la función Cobb-Douglas es crucial para avanzar en la modelización económica y la formulación de políticas. Al incorporar limitaciones de eficiencia, ecológicas y sociales, el esquema I3EP complementa la función Cobb-Douglas, guiándola hacia un entendimiento más holístico y realista de la producción económica. Este novedoso enfoque tiene implicaciones significativas para la política económica, permitiendo una toma de decisiones más informada que equilibre la productividad con la sostenibilidad y la equidad social. Asimismo, la capacidad del esquema I3EP para considerar las limitaciones del mundo real garantiza que los modelos económicos se ajusten mejor a las condiciones reales, conduciendo a intervenciones políticas más eficaces y responsables.

Como lo mencionamos anteriormente, esta investigación se organiza en varios capítulos, cada uno contribuyendo a una comprensión global del modelo I3EP y sus aplicaciones. El capítulo 2, Revisión de la Literatura, examina la literatura existente sobre funciones de producción, centrándose en la función Cobb-Douglas y sus limitaciones, y explorando modelos alternativos que incorporan distintos tipos de restricciones. El capítulo 3, Marco Teórico y Especificación del Modelo, presenta el esquema I3EP, detallando sus fundamentos teóricos y las especificaciones matemáticas de la FPPF, la SPF y la MSF. El capítulo 4, Validación Empírica, describe los métodos

empíricos y los datos utilizados para validar el modelo, incluyendo la estimación de los niveles óptimos de capital, trabajo y producción. El capítulo 5, Análisis Histórico, proporciona un análisis detallado de la economía estadounidense desde 1950 hasta 2018 utilizando el modelo I3EP, examinando las tendencias en productividad, fricciones y niveles óptimos de insumos. El capítulo 6, Discusión y Conclusión, sintetiza los resultados, discute sus implicaciones para la modelización económica y la formulación de políticas, y esboza áreas potenciales para futuras investigaciones. Siguiendo esta estructura, la tesis desarrolla, valida y aplica sistemáticamente el esquema I3EP, demostrando su relevancia y utilidad en el análisis económico moderno.

## **Capítulo 2: Revisión bibliográfica**

### 2.1. Introducción al Capítulo

Este capítulo examina los fundamentos teóricos y empíricos de la modelización económica, con un enfoque en las funciones de producción y su evolución a lo largo del tiempo. Está estructurado para ofrecer una visión global del desarrollo y aplicación de diversos modelos económicos, destacando sus fortalezas y limitaciones. Así, el objetivo es evaluar críticamente el contexto histórico, la formulación y los supuestos subyacentes de las funciones de producción tradicionales, en particular el modelo Cobb-Douglas, y enfatizar la necesidad de modelos más completos como el I3EP.

Iniciamos con un análisis de la evolución de los modelos económicos (2.2.1), destacando la transición de construcciones simples a sistemas sofisticados capaces de captar dinámicas complejas del mundo real. Esto incluye la incorporación de múltiples variables, el auge de la economía computacional y la integración del análisis de macrodatos y el aprendizaje automático. Seguidamente, abordamos la necesidad de accesibilidad, rigor y flexibilidad en los modelos económicos (2.2.2), resaltando las limitaciones de los modelos tradicionales, como la función Cobb-Douglas, para adaptarse a unas condiciones económicas en rápida evolución. Esta sección aboga por modelos que incorporen los impactos ecológicos y las consideraciones de equidad social, garantizando su pertinencia y valor en el análisis económico moderno.

El capítulo continúa con una evaluación detallada de distintas funciones de producción utilizadas en el análisis económico (2.3). Se ilustran los modelos lineal, Cobb-Douglas, Leontief, CES, Translog y de crecimiento endógeno, considerando sus características y aplicaciones únicas. Esto ofrece una perspectiva de su utilidad y limitaciones. Luego, nos enfocamos en la función de producción Cobb-Douglas (2.4), detallando su formulación, supuestos, fortalezas y limitaciones clave. En esta sección, se evalúan críticamente los supuestos de este modelo en cuanto al uso indefinido de factores de producción, la incapacidad de tener en cuenta las fricciones de producción, la falta de consideración de la sostenibilidad ecológica y el descuido de las cuestiones de equidad social.

Finalmente, presentamos la necesidad de un enfoque complementario a las funciones de producción, como el esquema I3EP (2.5), que busca abordar las limitaciones actuales incorporando restricciones de eficiencia, ecológicas y sociales. Se explica de manera general cómo el modelo

I3EP, a través de la Frontera de Posibilidades de Producción de Factores (FPPF), la Frontera de Posibilidades Sostenibles (SPF) y el Suelo Mínimo de Subsistencia (MSF), ofrece un enfoque más completo de la modelización económica. Así, presentamos cómo la formalización y explicación de los niveles óptimos de trabajo, capital y producción pueden conducir a resultados económicos más precisos, sostenibles y equitativos.

Este capítulo tiene como objetivo proporcionar una comprensión detallada de la evolución y el estado actual de la investigación sobre las funciones de producción. Asimismo, destaca las limitaciones de los modelos existentes e introduce la necesidad de un enfoque como el del esquema I3EP, que aborda mejor las complejidades de las economías modernas. De este modo, se prepara el terreno para la formalización del modelo I3EP que se presenta en el tercer capítulo.

## 2.2. Fundamentos teóricos de la modelización económica

### 2.2.1. Evolución de los modelos económicos

La evolución de los modelos económicos, desde construcciones simples hasta sistemas sofisticados, refleja nuestra creciente comprensión de las complejidades inherentes a la dinámica económica. Los modelos económicos iniciales eran predominantemente simples y se centraban en las interacciones entre la oferta y la demanda en el mercado. Estos modelos se basaban en los supuestos clásicos y neoclásicos del comportamiento racional y el equilibrio del mercado, donde los ajustes de precios y cantidades eran suficientes para describir los resultados económicos (Smith, 1776; Jevons, 1871). No obstante, y con el tiempo, se evidenciaron las limitaciones de estos enfoques, especialmente su incapacidad para abordar las fluctuaciones macroeconómicas y los intrincados comportamientos de los consumidores. Así, la economía keynesiana marcó un hito importante al incorporar la demanda agregada y la intervención gubernamental como elementos vitales en la modelización de los ciclos económicos (Keynes, 1936). Las teorías de Keynes catalizaron el desarrollo de modelos macroeconómicos capaces de gestionar mejor las recesiones económicas y las repercusiones de las políticas, representando un cambio significativo del enfoque microeconómico de los modelos anteriores.

En las décadas posteriores, el desarrollo de modelos económicos adoptó un enfoque más holístico, integrando múltiples variables y considerando factores no exclusivamente económicos. El avance de la economía computacional a finales del siglo XX permitió simular complicados sistemas económicos con diversos agentes y dinámicas no lineales de una forma sin precedentes (Lucas, 1986). Estos modelos computacionales facilitaron la creación de escenarios y predicciones que los modelos analíticos tradicionales no podían manejar, reflejando un avance metodológico significativo. Este progreso impulsó el auge de fenómenos como el “Big Data” y el “Machine Learning”, permitiendo analizar vastos conjuntos de datos y mejorar la precisión de los modelos, manejando simultáneamente múltiples variables interactivas. Dichos métodos han permitido poner a prueba teorías en entornos virtuales y modelar interacciones complejas en entornos reales con una precisión y una escala nunca antes vista, como se demuestra en los mercados financieros y las redes de comercio internacional (Varian, 2014).

Además, innovaciones metodológicas como la modelización basada en agentes y la aplicación de la teoría de juegos han introducido nuevas dimensiones en el análisis económico. Estas metodologías consideran las repercusiones de las acciones individuales y la toma de decisiones

estratégicas, permitiendo una comprensión más profunda de la dinámica del mercado y los comportamientos económicos, algo que no es posible únicamente mediante el análisis agregado (Epstein y Axtell, 1996; Nash, 1950).

La evolución de los modelos, desde los simples hasta los que incorporan dinámicas complejas del mundo real, ha ampliado el alcance del análisis económico y aumentado su relevancia en la formulación de políticas y la planificación estratégica. La incorporación de diversas variables y la adaptación a los avances tecnológicos seguirán siendo cruciales en el desarrollo de la teoría y la práctica económicas a medida que los fenómenos económicos estén más interconectados e influidos por factores globales.

### *2.2.2. La necesidad de accesibilidad, rigor y flexibilidad*

Si bien los modelos económicos ya establecidos son fundamentales para el desarrollo de la teoría económica, a menudo presentan limitaciones significativas en cuanto a su rigidez y falta de adaptabilidad a condiciones económicas cambiantes. Por ejemplo, pese a su utilidad teórica, modelos como la función de producción Cobb-Douglas suelen asumir rendimientos constantes a escala y una sustitución suave entre los insumos, supuestos que no siempre se cumplen en la realidad (Cobb y Douglas, 1928). Así, estos planteamientos pueden ignorar imperfecciones del mercado, perturbaciones tecnológicas y dinámicas no lineales, lo que resulta en imprecisiones en las previsiones económicas y el análisis de políticas. Además, estos modelos a menudo se centran en condiciones de equilibrio, asumiendo que los mercados se ajustarán naturalmente a las perturbaciones. Sin embargo, los mercados pueden experimentar desequilibrios prolongados debido a precios rígidos, salarios altos y otras fricciones que impiden el ajuste fluido de la oferta y la demanda (Keynes, 1936). Estas ideas enfatizan la necesidad de enfoques que puedan reflejar con mayor precisión las complejidades e inestabilidades de las economías reales, especialmente en situaciones de tensión.

Para responder a estos desafíos, es necesario desarrollar modelos económicos que sean teóricamente rigurosos, flexibles y accesibles. Estos modelos deben adaptarse a las nuevas realidades económicas e incorporar una gama más amplia de variables, incluyendo los impactos ecológicos y la equidad social. La creciente comprensión del papel crucial que desempeñan los factores sociales y medioambientales en los resultados económicos impulsa esta necesidad. Por ejemplo, integrar las limitaciones ecológicas en los modelos económicos puede ayudar a abordar cuestiones como el agotamiento de recursos y la degradación ambiental, realidades a menudo pasadas por alto en el análisis económico tradicional (Dasgupta, 1982).

Además, la necesidad de accesibilidad resalta la importancia de que los modelos sean comprensibles y utilizables no solo por académicos especializados, sino también por los responsables de políticas y profesionales. Esta accesibilidad es esencial para traducir eficazmente los conocimientos económicos en políticas y estrategias viables. En este sentido, los modelos económicos deben evolucionar para incluir más variables económicas no tradicionales y adaptarse mejor al panorama de la economía moderna, basada en datos y tecnológicamente avanzada. Adoptar principios de flexibilidad, rigor y accesibilidad permitirá que los modelos económicos respondan mejor a las necesidades del complejo y cambiante mundo actual. Esta evolución es esencial para mantener la relevancia y el valor de los modelos en la fundamentación de políticas económicas equitativas, sostenibles y que promuevan la prosperidad a largo plazo.

## 2.3. Funciones económicas de producción

### 2.3.1. Desarrollo histórico de las funciones de producción

De forma similar a los modelos económicos en general, el desarrollo histórico de las funciones de producción en la teoría económica refleja una progresión desde formulaciones sencillas hasta otras más complejas, a medida que hemos tratado de comprender mejor y modelar las relaciones entre los factores en el proceso de producción. Las teorías económicas clásicas sentaron inicialmente las bases de las funciones de producción. En “La riqueza de las naciones” (1776), Adam Smith introdujo la idea de la división del trabajo y la acumulación de capital como elementos fundamentales de la productividad económica (Smith, 1776). David Ricardo perfeccionó aún más estos conceptos, en particular mediante su teoría de la ventaja comparativa, que destaca el papel de las diferencias de productividad relativa entre las naciones (Ricardo, 1817).

La revolución marginalista de finales del siglo XIX supuso un cambio significativo en el pensamiento económico. Pioneros como William Stanley Jevons, Carl Menger y Léon Walras introdujeron los conceptos de utilidad y costo marginal, que condujeron a un tratamiento matemático más preciso de las relaciones económicas (Jevons, 1871; Menger, 1871; Walras, 1874). Durante este periodo también se formalizó a la función de producción como una expresión matemática que relaciona los insumos con los productos. Siguiendo esta evolución, es natural el esperar que eventualmente se generara un modelo simple, elegante y útil para las necesidades de la época. Así, a principios del siglo XX, se desarrolló la función de producción Cobb-Douglas, que se convirtió en una de las formulaciones más utilizadas en el análisis económico. Introducida por Charles Cobb y Paul Douglas, esta función propuso una relación específica entre el capital y el trabajo, con rendimientos constantes a escala y sustituibilidad suave entre los insumos (Cobb y Douglas, 1928). Este modelo proporcionó una herramienta sencilla pero potente para analizar los procesos de producción, asumiendo que la producción podía crecer continuamente con la disponibilidad de insumos.

El desarrollo de la teoría económica debería buscar abordar las necesidades de la época. En este sentido, la revolución keynesiana de mediados del siglo XX también aportó nuevas perspectivas sobre las funciones de producción, enfatizando la importancia de la demanda agregada para determinar los niveles de producción. John Maynard Keynes, en “The General Theory of Employment, Interest, and Money”, cuestionó la noción clásica de equilibrio automático del mercado y destacó el papel de la intervención gubernamental en la estabilización de las fluctuaciones económicas (1936). Durante este periodo también se desarrollaron modelos macroeconómicos que incorporaron funciones de producción en el contexto más amplio de la renta nacional y el empleo.

En la segunda mitad del siglo XX, los avances en las técnicas informáticas y la disponibilidad de grandes conjuntos de datos permitieron desarrollar modelos más sofisticados de las funciones de producción. Así, se empezaron a incorporar factores como el cambio tecnológico, las economías de escala y las externalidades. Por ejemplo, el desarrollo de la teoría del crecimiento endógeno por parte de académicos como Paul Romer y Robert Lucas puso en evidencia el papel del conocimiento y la innovación como motores del crecimiento económico, dando lugar a funciones de producción más dinámicas y complejas (Romer, 1986; Lucas, 1988).

Finalmente, en el siglo XXI, las funciones de producción se han desarrollado y diversificado aún más. Los modelos económicos modernos suelen incluir consideraciones de sostenibilidad ecológica y equidad social, reflejando la creciente concienciación sobre las limitaciones medioambientales y el bienestar social en el análisis económico (Dasgupta, 1982; Stern, 2007). El desarrollo del esquema I3EP ejemplifica esta evolución al integrar estas consideraciones más amplias en el análisis de los óptimos del trabajo, el capital y la producción.

Considerando esto, podemos exhibir cómo la evolución histórica de las funciones de producción en la teoría económica demuestra una continua expansión y perfeccionamiento de las herramientas disponibles para comprender y modelar el proceso de producción. Esta evolución refleja la creciente complejidad de los fenómenos económicos y la necesidad de modelos capaces de captar con precisión las interacciones entre los múltiples factores que influyen en la producción.

### *2.3.2. Diferentes tipos de funciones de producción utilizadas en el análisis económico*

Está claro que las funciones de producción en el análisis económico son herramientas fundamentales para comprender la transformación de insumos en productos dentro de una economía. En este sentido, se ha desarrollado una multitud de distintas funciones de producción, cada una con características y aplicaciones únicas. Así, aunque no se trata de una lista exhaustiva, a continuación, se describen algunos de los tipos más utilizados e influyentes.

El tipo más básico es la función de producción lineal, que supone una relación directa y proporcional entre los insumos y la producción. Este tipo puede representarse como

$$Y = aK + bL,$$

donde  $Y$  es la producción,  $K$  es el capital,  $L$  es la mano de obra y  $a$  y  $b$  son constantes. Aunque sencillas, las funciones de producción lineales tienen limitaciones para captar las complejidades de los procesos de producción del mundo real, donde los insumos solo a veces son perfectamente sustituibles (Jones, 2005).

La función de producción Cobb-Douglas, el siguiente tipo y enfoque de esta investigación, es una de las formulaciones más utilizadas en el análisis económico. Introducida por Charles Cobb y Paul Douglas, se expresa como

$$Y = AK^\alpha L^\beta,$$

donde  $A$  representa la productividad total de los factores, y  $\alpha$  y  $\beta$  son las elasticidades de producción del capital y el trabajo, respectivamente. Como se ha mencionado antes, esta función supone rendimientos constantes a escala cuando  $\alpha + \beta = 1$ , y además permite rendimientos marginales decrecientes para cada insumo (Cobb y Douglas, 1928). La flexibilidad y simplicidad de la función Cobb-Douglas la han convertido en un elemento básico de la investigación teórica y empírica.

Otro tipo significativo es la función de producción de Leontief, que supone proporciones fijas de insumos. Representada como

$$Y = \min \left( \frac{K}{a}, \frac{L}{b} \right),$$

esta función refleja situaciones en las que los insumos se utilizan en proporciones estrictamente fijas, como en la producción de bienes que requieren combinaciones específicas de componentes (Leontief, 1941). Esta función es útil en industrias donde la sustitución entre insumos es imposible.

La función de producción de elasticidad constante de sustitución (CES) generaliza la función Cobb-Douglas al permitir una sustituibilidad variable entre los insumos. Se formula como

$$Y = A[\delta K^\rho + (1 - \delta)L^\rho]^{\frac{1}{\rho}},$$

donde  $\delta$  y  $\rho$  son parámetros que determinan la distribución y la elasticidad de sustitución entre el capital y el trabajo, respectivamente. Cuando  $\rho$  se aproxima a 0, la función CES converge a la forma Cobb-Douglas, y cuando se aproxima a 1, se asemeja a una función lineal (Arrow et al., 1961). La flexibilidad de la función CES para acomodar diferentes elasticidades de sustitución la hace valiosa para analizar diversos entornos de producción.

La función de producción translog es otra extensión de la forma Cobb-Douglas, que ofrece aún mayor flexibilidad al permitir diferentes elasticidades de sustitución entre insumos en distintos niveles de uso de insumos. Se suele representar como

$$\ln Y = \alpha_0 + \sum \alpha_i \ln X_i + \frac{1}{2} \sum \sum \beta_{ij} \ln X_i \ln X_j,$$

donde  $X_i$  representa diferentes insumos (Christensen, Jorgenson y Lau, 1973). La función translog puede aproximar virtualmente cualquier función de producción, lo que la hace muy versátil para la investigación empírica.

Los modelos de crecimiento endógeno, como aquellos introducidos por Paul Romer y Robert Lucas, también incorporan funciones de producción, pero enfatizan el papel del conocimiento, la tecnología y el capital humano. Estos modelos suelen utilizar variaciones de las formas Cobb-Douglas o CES, pero incluyen términos para los efectos de innovación y aprendizaje práctico (Romer, 1986; Lucas, 1988). Estos modelos destacan cómo las inversiones en tecnología y educación pueden conducir a un crecimiento económico sostenido más allá de los límites de los insumos tradicionales.

Es evidente por sus formulaciones específicas, que cada tipo de función de producción sirve para distintos fines analíticos, desde relaciones lineales sencillas hasta formas complejas y flexibles que consideran diversos grados de sustituibilidad de los insumos y factores externos. La elección de la función de producción depende del contexto económico específico y de la naturaleza del proceso de producción estudiado. En conjunto, estos distintos tipos mejoran nuestra comprensión de cómo los insumos se transforman en productos, permitiendo una modelización y un análisis político más precisos.

### *2.3.3. El papel de las funciones de producción en la comprensión de la producción económica y la asignación de recursos*

Al describir matemáticamente la relación entre insumos—como trabajo, capital y tecnología—y la producción, las funciones de producción proporcionan una visión crítica de cómo las economías transforman los recursos en bienes y servicios, y mejoran nuestra comprensión de la asignación de recursos, sirviendo como herramientas fundamentales tanto en el análisis económico teórico como empírico.

En este sentido, uno de los principales usos de las funciones de producción es comprender la eficiencia y la productividad de una economía. Nos permiten medir la elasticidad de la producción de diversos insumos, indicando cómo los cambios en la mano de obra o el capital afectan la producción global. Por ejemplo, la función de producción Cobb-Douglas, con sus parámetros específicos de trabajo y capital, ayuda a identificar la contribución de cada insumo al crecimiento económico (Cobb y Douglas, 1928). Esta comprensión es crucial para los responsables políticos y empresariales que buscan optimizar el uso de los recursos y mejorar la productividad. Así, analizando las funciones de producción, podemos identificar qué factores están infra o sobre utilizados, permitiendo una asignación de recursos más eficiente.

Además, las funciones de producción proporcionan un esquema para analizar el impacto del cambio tecnológico en la producción económica. A medida que las economías se desarrollan, los avances tecnológicos juegan un papel crucial en la mejora de la productividad. De esta manera, los modelos de crecimiento endógeno, como los propuestos por Romer (1986) y Lucas (1988), incorporan funciones de producción que incluyen la tecnología como factor endógeno. Estos modelos destacan cómo las inversiones en investigación y desarrollo, educación e innovación conducen a un crecimiento económico sostenido al mejorar la eficiencia en el uso de los insumos. Comprender esta relación permite a los responsables políticos diseñar estrategias que fomenten el avance tecnológico y apoyen el crecimiento económico a largo plazo.

Otro aspecto crucial de las funciones de producción es su capacidad para captar las compensaciones entre distintos insumos y su sustituibilidad. Por ejemplo, la función de producción de elasticidad de sustitución constante (CES) permite variar la sustituibilidad entre insumos, proporcionando un enfoque más flexible para modelar los procesos de producción (Arrow et al., 1961). Esta flexibilidad es fundamental en sectores donde los insumos no pueden sustituirse fácilmente, como la agricultura o la industria manufacturera. Así, al entender estas compensaciones, es posible predecir mejor cómo afectan los cambios en la disponibilidad o los precios de los insumos a los niveles de producción, lo que ayuda a tomar decisiones más informadas sobre la asignación de recursos.

Adicionalmente, las funciones de producción son fundamentales para comprender los aspectos distributivos de la producción económica. Ayudan a analizar cómo los cambios en el uso de insumos afectan la distribución de la renta y la desigualdad económica. Por ejemplo, la función de producción Translog puede captar los efectos de distintas combinaciones de insumos sobre la producción y la distribución de la renta (Christensen, Jorgenson y Lau, 1973). Este análisis es crucial para diseñar políticas que promuevan un crecimiento equitativo y aborden cuestiones de equidad social.

Sin duda alguna, las funciones de producción también juegan un papel importante en la formulación y evaluación de la política macroeconómica. Se utilizan para construir funciones de producción agregadas esenciales para la contabilidad de la renta nacional y la previsión económica.

Estas funciones agregadas ayudan a los responsables políticos a comprender la producción potencial de una economía y a evaluar la eficacia de las políticas fiscales y monetarias. Por ejemplo, durante periodos de recesión económica, comprender la relación entre insumos y producción puede orientar a los responsables políticos en la aplicación de medidas de estímulo dirigidas a insumos específicos para impulsar la producción y el empleo.

En resumen, las funciones de producción son herramientas vitales para comprender la producción económica y la asignación de recursos. Proporcionan información sobre la eficiencia y la productividad de los insumos, el impacto del cambio tecnológico, las compensaciones entre insumos y los aspectos distributivos de la producción económica. Además, son esenciales para la formulación y evaluación de políticas macroeconómicas, ayudando a los responsables políticos a diseñar estrategias que promuevan un crecimiento sostenible y equitativo. La naturaleza evolutiva de las funciones de producción, que incorporan consideraciones ecológicas y sociales, refuerza aún más su relevancia para abordar los retos económicos contemporáneos. De este modo, está claro que las funciones de producción siguen siendo indispensables en la teoría y la práctica económicas, ofreciendo un enfoque estructurado para analizar cómo se transforman los recursos en bienes y servicios.

## 2.4. La función de producción Cobb-Douglas

### 2.4.1. Su formulación y supuestos

La función de producción Cobb-Douglas, introducida por Charles Cobb y Paul Douglas en 1928, es un modelo fundamental en la teoría económica que ha influido significativamente en nuestra comprensión de los procesos de producción. Uno de los supuestos básicos de la función de producción Cobb-Douglas es la sustituibilidad entre capital y trabajo, lo que significa que las empresas pueden ajustar la proporción entre estos insumos para producir un determinado nivel de producción. Esta flexibilidad permite al modelo captar diversos procesos de producción en diferentes industrias y economías. Además, la función asume una competencia perfecta en los mercados de bienes e insumos, lo que conduce a una asignación eficiente de los recursos, donde los factores de producción se pagan en función de sus productos marginales (Solow, 1956).

La simplicidad y el atractivo intuitivo del modelo han contribuido a su uso generalizado en estudios empíricos y análisis de políticas. Por ejemplo, se ha empleado ampliamente para analizar las fuentes del crecimiento económico, el impacto del cambio tecnológico y la distribución de la renta entre el trabajo y el capital. Como señaló Solow, la capacidad de la función Cobb-Douglas para incorporar el progreso tecnológico como un factor multiplicativo que desplaza la función de producción hacia arriba ha sido decisiva en la teoría del crecimiento y la economía del desarrollo (1956).

Sin embargo, la función de producción Cobb-Douglas tiene sus limitaciones. Críticos sostienen que sus supuestos, como los rendimientos constantes a escala y las proporciones fijas de los factores, no siempre se cumplen en el mundo real. Estudios han demostrado que la elasticidad de sustitución entre capital y trabajo no es necesariamente constante y puede variar significativamente entre distintos sectores y a lo largo del tiempo. Por ejemplo, la revisión de Chirinko (2008) destaca la rigidez de los supuestos del modelo al momento de captar la naturaleza dinámica de la sustituibilidad de los factores, lo que puede afectar su aplicabilidad en el análisis empírico.

Además, el modelo no considera el papel de la energía y otros recursos naturales en el proceso de producción, factores que pueden ser cruciales para comprender las repercusiones medioambientales de las actividades económicas (Dasgupta y Heal, 1974).

A pesar de estas críticas, la función de producción Cobb-Douglas sigue siendo una herramienta fundamental en el análisis económico. Su trazabilidad matemática y su capacidad para ofrecer una visión clara de las relaciones entre insumos y producción la convierten en un modelo valioso para estudiar los procesos de producción. Al considerar sus puntos fuertes y débiles, podemos comprender mejor los contextos en los que la función Cobb-Douglas es más aplicable y dónde pueden necesitarse modelos alternativos para captar las complejidades de las economías modernas (Arrow et al., 1961).

#### *2.4.2. Sobre los puntos fuertes de la función Cobb-Douglas*

La función de producción Cobb-Douglas es reconocida por sus virtudes, principalmente su simplicidad y elegancia matemática y su aplicabilidad empírica, lo que la convierte en un elemento clave del análisis económico. Uno de los principales puntos fuertes de la función Cobb-Douglas radica en su sencilla formulación:  $Y = AK^\alpha L^\beta$ . Esta ecuación capta de manera eficiente y accesible las relaciones esenciales entre insumos y producción (Solow, 1956). En este sentido, la simplicidad matemática de la función Cobb-Douglas facilita su manipulación y derivación. Ofrece una visión clara e interpretable del proceso de producción, especialmente en relación con el concepto de productividad marginal, es decir, la producción adicional obtenida por una unidad adicional de insumo, manteniendo constantes los demás insumos. Adicionalmente, en el contexto de esta función, las derivadas parciales con respecto al capital y al trabajo proporcionan los productos marginales de cada insumo, que son relativamente fáciles de calcular. Esta facilidad de derivación convierte a la función en una herramienta conveniente para el análisis teórico y la enseñanza (Arrow et al., 1961).

Otro punto fuerte de la función Cobb-Douglas es su aplicabilidad empírica. Ha sido ampliamente utilizada en estudios empíricos para estimar funciones de producción y analizar el crecimiento económico. Por ejemplo, ha sido fundamental en los ejercicios de contabilidad del crecimiento, donde se descompone el crecimiento de una economía en contribuciones de la acumulación de capital, la mano de obra y la productividad total de los factores. Este enfoque ha proporcionado valiosas ideas sobre las fuentes del crecimiento económico en diversos países y periodos. Los estudios de Solow (1956) y otros han utilizado la función Cobb-Douglas para demostrar el papel del progreso tecnológico como motor del crecimiento económico a largo plazo, enfatizando su relevancia empírica.

Además, el supuesto habitual de rendimientos constantes a escala de la función Cobb-Douglas, en la que la suma de las elasticidades de producción  $\alpha + \beta$  es igual a uno, simplifica el análisis de las economías de escala. Esta propiedad implica que la duplicación de los insumos se traduce en una duplicación de la producción, facilitando el análisis y la interpretación de los efectos de los cambios en los insumos sobre la producción. Este supuesto suele ser una aproximación moderadamente sensata para muchas industrias y ha sido respaldado por evidencia empírica en diversos contextos (Solow, 1956). No obstante, puede modificarse razonablemente ajustando la suma de las elasticidades para que sea mayor o menor que uno, reflejando rendimientos escala crecientes o decrecientes. La flexibilidad de la función Cobb-Douglas para adaptarse a diferentes

entornos empíricos es otro punto fuerte notable. Es posible estimar los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  mediante técnicas de regresión, lo que permite adaptar el modelo a industrias, regiones o periodos específicos. Esta adaptabilidad ha permitido que la función siga siendo relevante y ampliamente utilizada en diversas aplicaciones empíricas, desde el análisis de los procesos de producción a nivel de empresa hasta el estudio de la dinámica económica agregada (Chirinko, 2008).

Finalmente, la capacidad de la función Cobb-Douglas para incorporar el cambio tecnológico como un factor multiplicativo “A” que desplaza la función de producción verticalmente ha sido crucial para comprender el impacto del progreso tecnológico en la producción económica. Esta característica nos permite modelar y cuantificar los efectos de los avances tecnológicos sobre la productividad, proporcionando un enfoque para analizar cómo contribuyen las innovaciones al crecimiento económico a lo largo del tiempo (Solow, 1956).

En resumen, los puntos fuertes de la función de producción Cobb-Douglas—su simplicidad matemática, su aplicabilidad empírica, su facilidad de interpretación, su flexibilidad y su capacidad para incorporar el cambio tecnológico—la han convertido en una herramienta fundamental del análisis económico. Estos atributos le han permitido aportar ideas claras y valiosas sobre el proceso de producción, la asignación de recursos y el crecimiento económico, consolidando su lugar como modelo esencial en la economía teórica y empírica (Arrow et al., 1961; Chirinko, 2008).

#### 2.4.3. Sobre las limitaciones de la función Cobb-Douglas

Cómo ya lo mencionamos, también se han presentado varias limitaciones clave de la función de producción Cobb-Douglas que afectan sustancialmente su uso. En esta sección explicamos tanto dichas limitaciones como su importancia e implicaciones. En orden las limitaciones que identificamos son: el supuesto de factores y producción ilimitados, la indiferencia hacia el rol de las fricciones, la falta de consideración de la sostenibilidad ecológica, y el descuido de las cuestiones de equidad social. Si bien hay múltiples otras limitaciones presentes en la función de producción Cobb-Douglas, consideramos que estas son aquellas que no han sido completamente abordadas hasta la fecha.

La primera limitación identificada es el *supuesto de factores y producción ilimitados*. Por esta limitación entendemos que, la función de producción Cobb-Douglas, supone que los insumos pueden utilizarse indefinidamente para generar producción siempre que estén disponibles. Este supuesto subyacente, evidente en su formulación  $Y = AK^\alpha L^\beta$ , implica que la producción puede aumentar teóricamente sin límites con el incremento proporcional del capital y la mano de obra (Cobb y Douglas, 1928). Aunque esta simplificación facilita la modelización matemática y el análisis empírico, introduce limitaciones significativas al no considerar la naturaleza finita de los insumos y las restricciones de su utilización. Cabe notar que este supuesto también se extiende a otras funciones de producción, como la CES (elasticidad de sustitución constante) y la función de producción de Leontief, que operan bajo esta misma premisa (Arrow, Chenery, Minhas y Solow, 1961; Leontief, 1941). La propiedad de rendimientos constantes a escala asociada a la función Cobb-Douglas refuerza esta idea, sugiriendo que duplicar todos los insumos duplicará la producción, asumiendo una disponibilidad perfecta y en cantidades necesarias (Solow, 1956).

Sin embargo, este supuesto no se ajusta a las restricciones del mundo real que limitan la utilización de los insumos. Los recursos pueden agotarse, y su uso extensivo puede provocar externalidades

negativas como la degradación medioambiental, afectando la productividad futura (Dasgupta y Heal, 1974). Además, los insumos de mano de obra pueden verse limitados por factores sociales como la educación, la salud y los cambios demográficos, que la función de producción no capta intrínsecamente.

Esta discrepancia entre la función Cobb-Douglas y las restricciones del mundo real tiene profundas implicaciones. En la teoría económica, la dependencia de modelos que suponen una utilización indefinida de los insumos puede llevar a una comprensión distorsionada de los procesos de producción, ignorando las limitaciones impuestas por la escasez de recursos y la sostenibilidad ambiental. Esto puede resultar en proyecciones de crecimiento poco realistas y modelos que no reflejan con precisión los fenómenos económicos reales, limitando su poder explicativo y relevancia (Solow, 1956).

En la economía aplicada, las estimaciones resultantes de estudios empíricos basados en la función Cobb-Douglas pueden ser sesgadas y engañosas. Por ejemplo, al evaluar el impacto del capital y el trabajo en la producción económica, estos estudios pueden sobrestimar el potencial de crecimiento al ignorar el agotamiento de recursos y las limitaciones tecnológicas (Acemoglu, 2008). Esto puede llevar a conclusiones erróneas sobre la eficacia de las estrategias de inversión y mejoras de productividad.

Las implicaciones más críticas se observan en la política económica. Los responsables políticos que se basan en modelos económicos con supuestos de utilización indefinida de insumos pueden diseñar políticas bajo falsos supuestos de un potencial de crecimiento ilimitado. Esto puede resultar en una sobreinversión en sectores insostenibles a largo plazo y una consideración inadecuada de las repercusiones medioambientales y sociales. Políticas que ignoran la sostenibilidad ecológica pueden conducir a una grave degradación del medio ambiente, socavando el crecimiento económico y el bienestar (Chirinko, 2008).

A esto se suma, como veremos más adelante, que no tener en cuenta las cuestiones de equidad social en las funciones de producción puede exacerbar las desigualdades económicas. Las políticas basadas en funciones que asumen una ausencia de restricciones pueden priorizar estrategias de crecimiento intensivas en capital, beneficiando desproporcionadamente a los propietarios de capital y descuidando sectores intensivos en mano de obra, ampliando la brecha socio-económica y provocando malestar social e inestabilidad económica a largo plazo (Piketty, 2014). De igual manera, esta discrepancia también afecta el desarrollo de modelos económicos sostenibles. A medida que la economía mundial enfrenta presiones del cambio climático, la escasez de recursos y las desigualdades sociales, aumenta la necesidad de modelos que incorporen estas limitaciones. Las funciones de producción que no consideran los límites ecológicos y sociales están mal equipadas para abordar estos retos, limitando la capacidad de los economistas para proponer soluciones viables para el desarrollo sostenible (Dasgupta, 1982).

En definitiva, la discordancia de funciones de producción como la Cobb-Douglas con las limitaciones del mundo real plantea problemas significativos para la teoría económica, la economía aplicada y la política económica. Los modelos teóricos pueden ofrecer proyecciones irreales, los estudios empíricos pueden arrojar estimaciones sesgadas y las políticas pueden basarse en supuestos insostenibles. Esto enfatiza la necesidad de funciones de producción más completas y realistas que incorporen las limitaciones de eficiencia, sostenibilidad ecológica y equidad social.

Abordar estas limitaciones es crucial para desarrollar modelos económicos precisos, fundamentar decisiones políticas eficaces y promover un crecimiento económico sostenible y equitativo (Solow, 1956; Acemoglu, 2008; Piketty, 2014).

La segunda limitación que hemos identificado es *la indiferencia hacia el rol de las fricciones*. A pesar de su elegancia matemática y utilidad empírica, la función de producción Cobb-Douglas presenta una limitación significativa en su incapacidad para considerar las fricciones presentes en los procesos de producción del mundo real. Esta limitación se deriva principalmente de sus supuestos subyacentes y de la representación simplificada del mecanismo de producción. La función Cobb-Douglas supone una relación fluida y continua entre insumos y productos, generalmente expresada mediante la ecuación presentada anteriormente. Dicha formulación asume que los insumos se transforman perfectamente en productos sin impedimentos ni ineficiencias (Solow, 1956).

Sin embargo, los procesos de producción reales raramente están exentos de fricciones. Estas fricciones pueden deberse a diversas causas, como limitaciones tecnológicas, entornos normativos, costes de transacción y otras ineficiencias. Por ejemplo, las restricciones tecnológicas pueden limitar la eficiencia de la conversión de insumos en productos. Una fábrica con maquinaria desactualizada puede reducir la productividad de la mano de obra y el capital, o las limitaciones tecnológicas actuales pueden impedir alcanzar niveles óptimos de producción (Arrow, 1962).

Los entornos normativos también introducen fricciones importantes. Las regulaciones gubernamentales pueden imponer restricciones a los procesos de producción a través de leyes medioambientales, normas laborales y reglamentos de seguridad. Aunque estas regulaciones son necesarias para alcanzar objetivos sociales y medioambientales más amplios, pueden aumentar los costes de producción y la complejidad operativa. Las empresas deben invertir en medidas de cumplimiento adicionales, lo que ralentiza la producción y reduce la eficiencia global (Chirinko, 2008).

Los costes de transacción representan otra forma de fricción. Estos costes incluyen los gastos asociados a la adquisición de materias primas, la negociación de contratos y la distribución de productos. Unos costes de transacción elevados pueden reducir considerablemente el rendimiento neto de un proceso de producción. Por ejemplo, los retrasos en la cadena de suministro o el aumento de los costes de las materias primas debido a aranceles pueden impedir la transformación fluida de los insumos en productos como supone la función Cobb-Douglas (Williamson, 1981).

Adicionalmente, y de forma similar a lo expuesto anteriormente, la suposición habitual de rendimientos constantes a escala en la función Cobb-Douglas ilustra aún más la desconexión entre el modelo y las complejidades del mundo real. Este supuesto implica que duplicar los insumos de capital y mano de obra duplicará la producción, sin considerar las posibles ineficiencias y los rendimientos decrecientes que suelen producirse a medida que aumenta la producción. En realidad, el aumento de la producción puede dar lugar a ineficiencias debidas al uso excesivo de recursos, problemas de gestión y mayores costes de coordinación, que no se tienen en cuenta en el modelo Cobb-Douglas (Solow, 1956).

Esta simplificación excesiva presenta un problema potencial para la economía porque puede conducir a recomendaciones políticas y estrategias empresariales inexactas. Los responsables

políticos que se basan en la función Cobb-Douglas podrían subestimar el impacto de los cambios normativos o las actualizaciones tecnológicas, lo que llevaría a una inversión subóptima en infraestructura y tecnología. Las empresas que utilicen este modelo para planificar podrían pasar por alto los costes asociados a la ampliación de sus operaciones, lo que provocaría ineficiencias inesperadas y pérdidas financieras (Acemoglu, 2008).

En este sentido, la suposición de que los insumos pueden transformarse en productos sin impedimentos ni ineficiencias, tal como se plantea en la función de producción Cobb-Douglas, es una limitación considerable. No tiene en cuenta las diversas fricciones que afectan a los procesos de producción del mundo real, desde las limitaciones tecnológicas y los entornos normativos hasta los costes de transacción y los rendimientos decrecientes. Reconocer y abordar estas fricciones es crucial para desarrollar modelos económicos más precisos y fiables, que conduzcan a decisiones políticas y estrategias empresariales mejor informadas (Arrow, 1962; Chirinko, 2008; Williamson, 1981).

La tercera limitación identificada es *la falta de consideración de la sostenibilidad ecológica*. Aunque la función de producción Cobb-Douglas es reconocida por su simplicidad matemática y solidez empírica, también enfrenta críticas importantes por no considerar la sostenibilidad ecológica y las limitaciones de los insumos derivadas de los límites ecológicos. Esto es crucial, especialmente cuando tomamos en cuenta los retos económicos contemporáneos que exigen modelos de crecimiento sostenibles y alineados con el medio ambiente.

Como presentamos en la primera limitación, en el núcleo de la función de producción Cobb-Douglas está la suposición de que los insumos de capital y trabajo pueden utilizarse indefinidamente para impulsar la producción económica, siempre que estén disponibles. En este sentido, es lógico reconocer que esta suposición pasa por alto la naturaleza finita de los recursos y restricciones ecológicas críticas que limitan las capacidades de producción. Sabemos que los recursos naturales como el agua, los combustibles fósiles y la tierra cultivable son finitos y están sujetos al agotamiento y la degradación. Ignorar estos límites ecológicos conduce a un modelo de producción poco realista y potencialmente perjudicial cuando se aplica a la planificación económica a largo plazo (Solow, 1956).

La ausencia de consideraciones ecológicas en el modelo Cobb-Douglas implica que no se tienen en cuenta los costes medioambientales asociados a la producción. Por ejemplo, la explotación de recursos naturales suele provocar la degradación del medio ambiente, como la deforestación, la erosión del suelo y la pérdida de biodiversidad. Estos costes ecológicos pueden afectar gravemente a la economía a largo plazo, reduciendo la productividad agrícola y aumentando la vulnerabilidad al cambio climático. Al no incorporar estos factores, la función Cobb-Douglas ofrece una visión incompleta del coste real y la sostenibilidad de las actividades económicas (Dasgupta, 1982).

Además, y elaborando sobre lo que ya ha sido expuesto, la función Cobb-Douglas tradicional no aborda el concepto de fricciones ecológicas, es decir, las ineficiencias y restricciones impuestas por los límites ecológicos. Por ejemplo, el uso excesivo de los recursos hídricos en la producción agrícola puede provocar escasez de agua, reduciendo la eficiencia de la producción agrícola e industrial. Del mismo modo, la contaminación del aire y el agua derivada de las actividades industriales puede causar problemas de salud y reducir la productividad laboral. Estas fricciones ecológicas son fundamentales para comprender la dinámica real de los procesos de producción y

garantizar que los modelos económicos reflejen la verdadera sostenibilidad del crecimiento (Nordhaus, 1992).

No tener en cuenta los límites ecológicos puede llevar a previsiones inexactas e intervenciones políticas subóptimas. Por ejemplo, los modelos económicos basados en la función Cobb-Douglas podrían sobrestimar el potencial de expansión industrial en regiones que enfrentan graves tensiones medioambientales, resultando en inversiones insostenibles a largo plazo (Ayres y Warr, 2009). En cambio, los modelos que integran las limitaciones ecológicas pueden proporcionar una evaluación más realista de los potenciales de crecimiento y de los ajustes necesarios para el desarrollo sostenible. Así, la incapacidad de la función de producción Cobb-Douglas para considerar la sostenibilidad ecológica y las limitaciones de insumos derivadas de los límites ecológicos representa un desliz considerable. Resolver esto es esencial para desarrollar modelos económicos que reflejen las limitaciones de recursos y los retos medioambientales. La incorporación de consideraciones ecológicas a las funciones de producción no solo mejora su precisión, sino que también las alinea con los objetivos más amplios del desarrollo sostenible y la gestión responsable de los recursos (Daly, 1991; Costanza et al., 1997; Ayres & Warr, 2009; Dasgupta, 1982; Nordhaus, 1992; Chirinko, 2008).

Finalmente, la cuarta limitación que hemos identificado es el *descuido de las cuestiones de equidad social*. La función de producción Cobb-Douglas también enfrenta críticas importantes al no considerar cuestiones de equidad social y las fricciones que se derivan de ellas. Fundamentalmente, la función Cobb-Douglas se enfoca en la relación entre el capital y el trabajo en la generación de producción económica, asumiendo que estos insumos pueden ajustarse sin problemas para optimizar la producción. Sin embargo, este enfoque ignora la dinámica social y las desigualdades que pueden afectar significativamente la productividad y la estabilidad económica. Cuestiones de equidad social, como la desigualdad de ingresos, el acceso a la educación y la discriminación en el mercado laboral, introducen fricciones sustanciales que la función Cobb-Douglas no considera (Solow, 1956).

Por ejemplo, la desigualdad de ingresos puede llevar a una distribución desigual de los recursos, donde una parte significativa de la población carece de acceso a servicios y oportunidades esenciales. Esta desigualdad puede reducir la productividad global de la mano de obra, ya que las personas de entornos desfavorecidos no tienen las mismas oportunidades de educación y desarrollo de habilidades que las de entornos más ricos. Al no incorporar estas dimensiones sociales, la función Cobb-Douglas no refleja la capacidad productiva real de la economía y las posibles ineficiencias derivadas de una distribución desigual de los recursos (Acemoglu, 2008).

El acceso a la educación es crucial para determinar la calidad y la productividad de la mano de obra. Las desigualdades en las oportunidades educativas pueden resultar en una mano de obra desigualmente cualificada y menos capaz de adaptarse a los avances tecnológicos y a las demandas cambiantes del mercado. Este desajuste entre las cualificaciones laborales y las necesidades del mercado introduce fricciones que la función Cobb-Douglas no contempla. Así, al ignorar las disparidades en el acceso y la calidad de la educación, la función ofrece una imagen incompleta de la productividad laboral y la producción económica (Barro, 1991).

La discriminación en el mercado laboral es otra fricción social significativa que la función Cobb-Douglas pasa por alto. La discriminación basada en género, raza u otros factores puede conducir a

una infrautilización de la mano de obra disponible, donde personas capaces y cualificadas quedan marginadas y no pueden contribuir eficazmente a la producción económica. Esto reduce la eficiencia global del mercado laboral y exacerba las tensiones sociales y la inestabilidad económica. La falta de consideración de estas prácticas discriminatorias y su impacto en la productividad laboral y la producción económica es una limitación importante (Becker, 1957).

Descuidar las cuestiones de equidad social y las fricciones que introducen puede tener implicaciones significativas para la política y la planificación económica. Las políticas basadas en la función Cobb-Douglas podrían subestimar la necesidad de intervenciones sociales para reducir la desigualdad y promover un crecimiento inclusivo. Si no se reconoce el impacto de la equidad social en la productividad económica, estas políticas pueden no abordar las causas profundas de las ineficiencias y disparidades en el mercado laboral, llevando a resultados subóptimos y a disparidades económicas persistentes (Acemoglu, 2008).

En definitiva, la función de producción Cobb-Douglas no considera las cuestiones de equidad social y las fricciones resultantes, lo que representa un inconveniente crítico. Este descuido conduce a una representación incompleta y potencialmente engañosa de la capacidad productiva y la eficiencia de la economía. Abordar estas dimensiones sociales es esencial para desarrollar modelos económicos más completos y realistas que orienten las políticas hacia un crecimiento equitativo y sostenible (Becker, 1957; Barro, 1991; Acemoglu, 2008).

## 2.5. La necesidad del modelo I3EP

Ignorar las restricciones de eficiencia y las limitaciones ecológicas y sociales en la modelización económica tiene importantes costos teóricos y prácticos. Modelos como la función de producción Cobb-Douglas, que asumen insumos ilimitados, simplifican la realidad y llevan a trayectorias de crecimiento poco realistas y políticas económicas ineficaces. Este enfoque omite la consideración de la degradación ambiental, las desigualdades sociales y las fricciones en el proceso de producción, resultando en análisis empíricos sesgados y recomendaciones políticas que no abordan las verdaderas limitaciones del mundo real (Solow, 1956; Acemoglu, 2008; Dasgupta, 1982).

Para abordar estas limitaciones, el esquema I3EP integra restricciones de eficiencia, sostenibilidad ecológica y equidad social en los modelos de producción. Este enfoque permite desarrollar modelos más completos que reflejen mejor las complejidades económicas actuales. Incorporar estas dimensiones es esencial para orientar decisiones políticas efectivas, promover un crecimiento económico sostenible y equitativo y asegurar una gestión responsable de los recursos (Barro, 1991; Nordhaus, 1992; Piketty, 2014). A continuación, se presenta a detalle cómo el modelo I3EP hace frente a estas limitaciones a través de la formulación de límites y niveles óptimos.

### 2.5.1. *¿Por qué límites y niveles óptimos?*

El modelo I3EP, mediante el desarrollo de la Frontera de Posibilidades de Producción de Factores (FPPF) y sus extensiones en la Frontera de Posibilidades Sostenibles (FPS) y el Piso Mínimo de Subsistencia (MSF), ofrece una propuesta integral a las limitaciones cubiertas a lo largo de este capítulo. Así, este enfoque aborda el supuesto de que los insumos pueden utilizarse indefinidamente, e integra las limitaciones de eficiencia, ecológicas y sociales en la modelización económica.

Para empezar, la FPPF representa un avance significativo respecto a las funciones de producción tradicionales, como la Cobb-Douglas, al incorporar explícitamente restricciones en la utilización de los insumos. La función Cobb-Douglas asume una relación fluida y sin fricciones entre insumos y productos, ignorando las limitaciones tecnológicas, normativas y los costes de transacción. En contraste, la FPPF reconoce estas restricciones y define la producción máxima factible con los insumos disponibles, teniendo en cuenta las ineficiencias y los rendimientos decrecientes. Al considerar las fricciones del mundo real, la FPPF ofrece una descripción más precisa del proceso de producción, permitiendo una mejor comprensión de la capacidad productiva de una economía (Solow, 1956; Arrow, 1962). Para retomar un ejemplo expuesto anteriormente, una fábrica que utiliza maquinaria anticuada enfrentará ineficiencias tecnológicas que la FPPF incorpora explícitamente, que de otra forma serían ignoradas por función Cobb-Douglas. Al ajustar las expectativas de producción según estas fricciones, la FPPF proporciona un acercamiento más realista para la toma de decisiones económicas y políticas.

La ampliación de la FPPF para generar la SPF mejora aún más este enfoque al integrar consideraciones de sostenibilidad ecológica directamente en el análisis económico. La SPF ajusta las posibilidades de producción para reflejar las limitaciones ecológicas, como el agotamiento de recursos y la degradación del medio ambiente. Este enfoque es crucial para abordar los costes medioambientales que a menudo se pasan por alto en los modelos tradicionales. Por ejemplo, la explotación excesiva de recursos hídricos o forestales puede llevar a una disminución de la producción a largo plazo debido a la degradación ambiental. Al tener en cuenta estos límites ecológicos, la SPF garantiza que las actividades económicas se evalúen en función de su sostenibilidad, fomentando la gestión a largo plazo de los recursos y la protección del medio ambiente (Nordhaus, 1992; Dasgupta, 1982). Esto es especialmente relevante en la planificación de políticas que buscan equilibrar el crecimiento económico con la conservación ambiental, promoviendo prácticas sostenibles que aseguren la disponibilidad de recursos para futuras generaciones.

De forma similar, la ampliación de la FPPF hacia el MSF aborda las cuestiones de equidad social estableciendo una base de referencia para los niveles mínimos de subsistencia. Este enfoque promueve que los modelos económicos consideren las necesidades básicas de la población, como el acceso a bienes y servicios esenciales, educación y atención sanitaria. La consideración de estos elementos es fundamental para abordar las fricciones derivadas de las desigualdades sociales que los modelos tradicionales suelen pasar por alto. Por ejemplo, la falta de acceso a una educación de calidad puede limitar severamente el desarrollo del capital humano y, por ende, la productividad laboral a largo plazo. Al incorporar el MSF, el modelo I3EP promueve el crecimiento inclusivo y la distribución equitativa de los recursos, alineando los resultados económicos con objetivos sociales más amplios (Piketty, 2014). Esto, a su vez, permite diseñar políticas que no solo buscan la eficiencia económica, sino también la justicia social, reduciendo las brechas de desigualdad y fomentando un desarrollo más equitativo.

Tomando en cuenta esto, en la práctica, el esquema I3EP proporciona a políticos y economistas herramientas para desarrollar enfoques económicos más precisos y completos. Al incorporar limitaciones de eficiencia, ecológicas y sociales, el modelo permite una evaluación más holística de las actividades económicas, evitando sobreestimar el potencial de crecimiento y subestimar los costes asociados a la degradación medioambiental y las desigualdades sociales. Esto, a su vez, apoya la formulación de políticas que equilibren el crecimiento económico con la sostenibilidad y

el bienestar social (Chirinko, 2008; Ayres & Warr, 2009). Además, la adaptabilidad del modelo I3EP a las condiciones económicas cambiantes aumenta su utilidad en la economía aplicada. La FPPF, la SPF y el MSF pueden recalibrarse para reflejar nuevos datos y limitaciones cambiantes, asegurando que las funciones de producción sigan siendo pertinentes y precisas. Esta adaptabilidad es especialmente valiosa en el contexto de retos globales como el cambio climático, la escasez de recursos y los cambios demográficos, que requieren enfoques de modelización dinámicos y con capacidad de respuesta (Costanza et al., 1997).

En resumen, el modelo I3EP, mediante el desarrollo de la FPPF y sus extensiones en la SPF y el MSF, aborda significativas limitaciones de las funciones de producción tradicionales. Al incorporar consideraciones de eficiencia, ecológicas y sociales, el esquema ofrece un enfoque más realista y completo de la modelización económica. Esta innovación mejora la precisión y pertinencia de los análisis teóricos y empíricos y apoya el desarrollo de políticas que promuevan un crecimiento económico sostenible y equitativo. Así, y considerando la evolución de las funciones de producción, el modelo I3EP representa un paso natural para alinear los modelos económicos con las complejidades y necesidades del mundo moderno, contribuyendo a una toma de decisiones económicas más eficaz y responsable (Solow, 1956; Nordhaus, 1992; Dasgupta, 1982; Piketty, 2014; Chirinko, 2008; Ayres & Warr, 2009).

### **Capítulo 3: Marco teórico y especificación del modelo**

#### **3.1. Introducción al Capítulo**

Considerando las limitaciones expuestas anteriormente, el esquema I3EP es un modelo original que busca encapsular y analizar la naturaleza polifacética de la producción dentro de una economía. Va más allá del enfoque tradicional de la eficiencia económica para incorporar la sostenibilidad ecológica y la equidad social, proporcionando una visión más holística de la dinámica de producción.

En esencia, el modelo I3EP introduce y modifica la Frontera de Posibilidades de Producción de Factores (FPPF) convencional integrando factores externos -ecológicos y sociales- en el parámetro de eficiencia de la producción. Esta integración se consigue mediante la Frontera de Posibilidades Sostenibles (FPS) y el MSF (Suelo Mínimo de Subsistencia), que ajustan la FPPF para tener en cuenta las capacidades ecológicas y las necesidades sociales, respectivamente. La FPS tiene en cuenta las limitaciones ecológicas de la producción, garantizando que las actividades económicas no superen la biocapacidad y comprometan la sostenibilidad. Por su parte, el MSF se centra en el aspecto social, garantizando que la producción satisfaga las necesidades básicas de subsistencia de la sociedad, teniendo en cuenta los niveles de pobreza y desigualdad imperantes.

#### **3.2. Frontera de posibilidades de producción de los factores**

El modelo de la frontera de posibilidades de producción de los factores (FPPF) pretende definir el límite de la producción máxima posible dado un conjunto de insumos en determinadas condiciones de eficiencia. En esencia, la FPPF está diseñada para ilustrar la relación entre dos factores primarios de producción -trabajo (L) y capital (K)- y la producción total (Y) que una economía o

empresa puede alcanzar, teniendo en cuenta la eficiencia de la conversión de estos insumos en producción.

### 3.2.1. La función límite básica

Consideremos un espacio real tridimensional  $\mathbb{R}^3$  donde las coordenadas  $(L, K, Y)$  representan el trabajo, el capital y la producción, respectivamente. Dada una cantidad “ $Y$ ” de producción máxima o producción de una economía o empresa, delimitada matemáticamente por  $Y > 0$ , ya que la producción no puede ser negativa, la función límite para la FPPF se define por:

$$Y = \frac{1}{\varphi}(\eta L^2 + \nu K^2)$$

Donde,

$L$  representa la cantidad de mano de obra empleada en la producción, y  $K$  denota la cantidad de capital empleado. De forma similar a  $Y$ , matemáticamente,  $L, K > 0$  porque suponemos que en el proceso de producción debe emplearse un mínimo de cualquiera de los dos insumos. Además,  $L$  y  $K$  son variables de insumo esenciales, y sus términos cuadrados en la ecuación indican rendimientos decrecientes a escala en mano de obra y capital, respectivamente.

El parámetro “ $1/\varphi$ ” refleja la eficiencia con la que el trabajo y el capital se convierten en producción. Este parámetro está acotado matemáticamente como  $0 < 1/\varphi \leq 1$ . En este sentido, un valor cercano a 1 indica una mayor eficiencia en la transformación de los insumos en la producción, mientras que los valores cercanos a 0 indican una menor eficiencia. En otras palabras, este parámetro escala el impacto del trabajo y el capital en la producción, influyendo directamente en la localización de la FPPF. Mientras que  $1/\varphi$  escala la producción en relación con los insumos, su recíproco, “ $\varphi$ ”, puede considerarse como una medida directa de las fricciones presentes en el proceso de producción. Matemáticamente, el parámetro de eficiencia implica que  $\varphi \geq 1$ ; así, un  $\varphi$  más próximo a 1 indica mayor eficiencia o menos fricciones, lo que significa que se necesitan menos insumos para producir una determinada cantidad de producto, y valores mayores indicarían menor eficiencia, o más fricciones presentes. Como veremos más adelante, el papel de los parámetros de eficiencia y fricción es fundamental a la hora de considerar ampliaciones de este modelo. Si modificamos estos parámetros para tener en cuenta factores externos, como la capacidad medioambiental, las necesidades sociales de subsistencia o incluso perturbaciones inesperadas, podemos modificar esencialmente todo el límite de la FPPF para reflejar situaciones en las que el proceso de producción se ve afectado externamente. Esto tiene implicaciones interesantes, ya que nos permitiría formalizar los efectos de distintos acontecimientos en un único esquema analítico.

Por último, en la ecuación de la FPPF,  $\eta$  representa el coeficiente de productividad del trabajo, que indica la eficacia con la que el trabajo contribuye a la producción. Este coeficiente está limitado matemáticamente por  $0 < \eta \leq 1$ ; por lo tanto,  $\eta$  determina la curvatura de la FPPF con respecto a la mano de obra, afectando a cómo los cambios en la mano de obra influyen en la producción. De forma similar,  $\nu$  representa el coeficiente de productividad del capital, que indica la eficacia del capital en el proceso de producción. También está limitado por  $0 < \nu \leq 1$ ; por tanto, este coeficiente determina la curvatura de la FPPF con respecto al capital, ilustrando cómo influye la

aportación de capital en la producción. Juntos, estos componentes forman la ecuación FPPF, que ilustra la producción máxima alcanzable dados los niveles de mano de obra y capital, modulados por sus respectivos coeficientes de productividad y la eficiencia global del proceso de producción. Gráficamente, al trazar esta ecuación en un espacio tridimensional con  $L$  y  $K$  en los ejes horizontales e  $Y$  en el eje vertical, obtenemos un cilindro elíptico. Esta forma puede ser una ilustración más tangible de cómo el potencial de producción de la economía se expande o contrae con los cambios en el trabajo y el capital en el contexto de la eficiencia dada.<sup>1</sup> Una vez completada la explicación del modelo en su totalidad, se presentarán varias gráficas para esclarecer la estructura funcional de este espacio tridimensional.

### *3.2.2. Explicación de los objetivos y funcionalidades de la FPPF*

En esencia, el modelo FPPF conceptualiza un punto de referencia idealizado que traza la producción máxima alcanzable con distintas combinaciones de mano de obra y capital, dadas las limitaciones de la tecnología actual y las eficiencias operativas. Esta frontera no sólo representa el límite ideal de la capacidad de producción, sino que también sirve de guía teórica para evaluar la eficiencia de la asignación de recursos en la economía.

El modelo explora cómo las diferentes asignaciones de mano de obra y capital pueden influir en la producción global, proporcionando información sobre la utilización óptima de los recursos y las compensaciones inherentes entre el despliegue de más mano de obra frente al capital. Sin embargo, es esencial reconocer que la FPPF es una representación idealizada que no siempre se ajusta a las condiciones económicas del mundo real. Factores como la dinámica del mercado, las políticas económicas, el comportamiento de los inversores y los cambios tecnológicos pueden dar lugar a escenarios en los que el uso real de capital y mano de obra se desvíe de esta frontera teórica, dando lugar a un exceso de capitalización.

La sobre capitalización se produce cuando el capital real empleado dentro de una economía o por empresas individuales supera sustancialmente el nivel considerado óptimo por modelos teóricos como la Frontera de Posibilidades de Producción de Factores (FPPF). A nivel macroeconómico, este fenómeno se produce cuando el stock total de capital de una economía supera el nivel óptimo sugerido por modelos como la FPPF.

Esta situación puede deberse a una serie de factores y políticas macroeconómicas que promueven inadvertidamente una acumulación excesiva de capital. Entre estos factores se encuentran las políticas fiscales expansivas, incluidos los incentivos fiscales a la inversión, las subvenciones dirigidas a determinadas industrias y, en ocasiones, las políticas monetarias laxas que hacen que la financiación sea más accesible y barata de lo habitual. Por ejemplo, las políticas fiscales que permiten una rápida depreciación o las subvenciones dirigidas a los gastos de capital pueden crear un poderoso incentivo para que las empresas inviertan colectivamente más en capital de lo que podría estar económicamente justificado por los rendimientos esperados de esas inversiones. Además, unas expectativas de mercado desajustadas también pueden conducir a la sobre capitalización. Durante periodos de optimismo económico o burbujas especulativas, las empresas pueden anticipar una mayor demanda y beneficios futuros, lo que conduce a una mayor inversión

---

<sup>1</sup> Como se presenta más adelante, fronteras SPF y MSF adoptan la misma forma funcional, salvo varios ajustes clave.

en activos de capital. Si estas expectativas no se cumplen, el resultado puede ser una cantidad sustancial de capital infrutilizado e ineficiente, que inmoviliza recursos que podrían ser más productivos en otros lugares. Este fenómeno de sobre capitalización no sólo indica una ineficiencia en la asignación de recursos, sino que también tiene implicaciones económicas más amplias. La acumulación excesiva de capital puede dar lugar a rendimientos de la inversión inferiores a los previstos, lo que reduce el crecimiento económico general y puede conducir a la inestabilidad financiera si las empresas no son capaces de generar rendimientos suficientes para cubrir los costes asociados a sus inversiones.

Otra característica clave del modelo es el uso de  $1/\varphi$  para encapsular la eficiencia con la que los insumos de trabajo y capital se convierten en producción. Este parámetro de eficiencia es fundamental para analizar cómo las variaciones en la eficiencia -derivadas del progreso tecnológico, la mejora de los métodos de gestión u otras influencias- afectan a la capacidad de producción de una economía o empresa. Como ya se ha dicho, un aumento de  $1/\varphi$  (o una disminución de  $\varphi$ ) significa una mejora de la eficiencia (o una reducción de las fricciones), lo que permite producir más con un determinado conjunto de insumos, desplazando potencialmente la frontera de posibilidades de producción hacia el exterior. Al considerar  $1/\varphi$  como una medida de la eficiencia y su recíproco  $\varphi$  como una medida de las fricciones de producción presentes, el modelo FPPF permite comprender la optimización de los procesos de producción y la eficacia de la utilización de los recursos. Además, son estos términos los que nos permitirán basarnos en la FPPF de forma práctica para dar cuenta de diferentes escenarios en los que la transformación de insumos en productos se ve afectada de una u otra forma.

Una idea interesante es que el modelo FPPF se utilice para estudiar la dinámica del crecimiento económico. En este sentido, esta curva podría mostrar cómo el aumento de los factores de producción o la mejora de la eficiencia pueden desplazar la frontera hacia el exterior, indicando el potencial de mayor producción y desarrollo económico. Además, la propia frontera ilustra el concepto de coste de oportunidad en el contexto de la producción, mostrando cómo el aumento de la producción de un bien exige sacrificar cierta cantidad de otro cuando se opera con plena eficiencia, poniendo así de relieve las compensaciones inherentes a las decisiones de producción. Por último, aunque principalmente estática, la FPPF podría adaptarse en el futuro para permitir un análisis dinámico que tenga en cuenta cómo se desplaza la frontera de posibilidades de producción a lo largo del tiempo con los cambios tecnológicos, la acumulación de capital, el crecimiento de la mano de obra y otros factores dinámicos.

### *3.2.3. Supuestos matemáticos y económicos*

Robert Solow inició su artículo seminal “A Contribution to the Theory of Economic Growth” con el siguiente párrafo:

Toda teoría parte de supuestos que no son del todo ciertos. Eso es lo que la convierte en teoría. El arte de teorizar con éxito consiste en hacer las inevitables suposiciones simplificadoras de tal manera que los resultados finales no sean muy sensibles. Una hipótesis “crucial” es aquella de la que dependen sensiblemente las conclusiones, y es importante que las hipótesis cruciales sean razonablemente realistas. Cuando los resultados de una teoría parecen fluir específicamente de una suposición crucial especial, entonces si la suposición es dudosa, los resultados son sospechosos. (1956, 65)

Al construir la FPPF hemos intentado seguir las palabras de Solow y construir el modelo sobre supuestos simplificadores razonables y prácticos. Los expongo a continuación. Además, hoy, construir un modelo económico funcional es tanto una tarea matemática como económica. Así pues, primero expondré los supuestos matemáticos subyacentes sobre los que se construye el modelo y, a continuación, se presentan sus contrapartidas económicas.

En primer lugar, se asume que los insumos de trabajo  $L$  y capital  $K$ , así como la producción  $Y$ , son números reales positivos. Esto refleja la realidad económica de que no se pueden tener cantidades negativas de insumos de producción o de producción. En segundo lugar, en esta misma línea, el trabajo y el capital se tratan como variables independientes en la función de producción. Esto simplifica el análisis al permitir que la contribución de cada insumo a la producción se examine por separado sin tener en cuenta las posibles interacciones entre ellos dentro de la función. En tercer lugar, se supone que la función límite representada por la FPPF es continua y diferenciable. Esto será crucial a la hora de aplicar técnicas de optimización y para que la función presente pendientes y curvaturas bien definidas, que son esenciales para analizar la eficiencia de la producción. En cuarto lugar, como se desprende de su formulación, el modelo supone que los factores de entrada (trabajo y capital) influyen en la producción a través de una relación cuadrática. Esta forma cuadrática implica rendimientos decrecientes de cada insumo, un concepto fundamental en economía.

Los parámetros y coeficientes de la curva FPPF,  $\eta$  y  $\nu$ , que representan los coeficientes de productividad del trabajo y del capital, respectivamente, se suponen no negativos. Esto garantiza que las contribuciones del trabajo y el capital a la producción son positivas o nulas, de acuerdo con la lógica económica. Además, se consideran exógenos al modelo. Por lo tanto, se supone que están dados y no determinados dentro del propio modelo, lo que simplifica el análisis, pero no capta explícitamente los posibles mecanismos de retroalimentación entre la producción de la economía y estos parámetros. En cuanto al parámetro de eficiencia,  $1/\phi$ , su límite de mayor que cero y menor o igual que 1 implica que, aunque el proceso de producción puede ser eficiente hasta cierto punto, no puede superar un determinado límite de eficiencia, lo que refleja las restricciones de producción del mundo real.

Como veremos más adelante, para completar el modelo, el propósito de la ecuación FPPF es que actúe como límite para la maximización de una función de producción Cobb-Douglas. Para garantizar que la optimización de la función Cobb-Douglas sujeta a la FPPF produce un máximo de producción, se supone que se satisfacen las condiciones de segundo orden para un máximo. Por último, en su forma actual, la FPPF suele asumir un análisis estático o comparativo-estático, lo que significa que examina las condiciones de equilibrio sin modelizar explícitamente los cambios dinámicos a lo largo del tiempo. Este supuesto simplifica el análisis, pero no tiene en cuenta las posibles variaciones dinámicas de la producción a lo largo del tiempo.

Estos supuestos matemáticos constituyen la base del modelo FPPF y proporcionan un enfoque estructurado para analizar la eficiencia de la producción y las relaciones entre insumos y producción en un sistema económico. Además, al establecer los supuestos matemáticos relativos al FPPF, ya hemos tocado algunos de los supuestos económicos centrales del modelo. Ahora los presentaré explícitamente. Estos supuestos económicos se han seleccionado y configurado de

forma que puedan proporcionar un modelo conceptual para el modelo FPPF, garantizando que sus conclusiones matemáticas tengan interpretaciones económicas relevantes.

Por su formulación, el modelo supone que tanto el trabajo como el capital contribuyen positivamente a la producción, adhiriéndose al principio de la productividad marginal. En consecuencia, el aumento de la mano de obra o el capital, manteniendo constante el otro, aumentará la producción, al menos hasta cierto punto. Como ya se ha dicho, la forma cuadrática del trabajo y el capital en la ecuación de la FPPF implica rendimientos marginales decrecientes. Esto indica que, aunque los insumos contribuyen positivamente a la producción, a medida que se utiliza más de uno de ellos, su contribución adicional a la producción disminuye, un concepto fundamental en la teoría de la producción económica. Además, se supone que el trabajo y el capital son sustituibles hasta cierto punto. El modelo permite la compensación entre trabajo y capital en la producción, lo que refleja el proceso de toma de decisiones en el mundo real, en el que las empresas y las economías ajustan la combinación de insumos para optimizar la producción.

Se supone que los agentes económicos (empresas o economías) se comportan racionalmente, tratando de maximizar la producción o la eficiencia dentro de las limitaciones dadas de trabajo y capital. En este sentido, el aspecto de optimización del modelo implica que la economía o la empresa operan en un punto de equilibrio en el que los recursos se asignan eficientemente, dadas las limitaciones y la tecnología existentes. Además, en su configuración actual, el modelo supone una competencia perfecta, en la que ninguna empresa o economía tiene poder para influir en el precio de los bienes y servicios. Este supuesto permite centrarse en la eficiencia de la producción sin tener en cuenta el poder de mercado o el comportamiento estratégico. Además, la FPPF no tiene en cuenta explícitamente el comercio internacional ni los factores económicos externos, por lo que trata la economía como cerrada o se centra en una única empresa aislada de las interacciones globales. Por último, es fundamental mencionar que el modelo básico FPPF no tiene en cuenta las externalidades, lo que significa que asume que todos los costes y beneficios de la producción están internalizados. Esto simplifica el análisis, pero no capta explícitamente las repercusiones sociales o medioambientales más amplias de las actividades de producción.

#### *3.2.4. Respecto a la función de producción Cobb-Douglas*

Como se vio extensivamente en el capítulo anterior, desde sus inicios, la función de producción Cobb-Douglas ha sido una poderosa herramienta para comprender las relaciones fundamentales en los procesos de producción y cómo influyen en la producción los cambios en los insumos en condiciones económicas variables. A continuación, se explica la función a detalle, elaborando en su formulación y rol en el modelo I3EP.

Representada por  $Y = AL^\beta K^\alpha$ , donde  $A > 0$ , y  $0 < \alpha, \beta \leq 1$ , esta función proporciona un modelo matemático para analizar cómo se ve afectada la producción por los cambios en los insumos, concretamente el capital “K” y el trabajo “L”. Los parámetros A,  $\alpha$ , y  $\beta$  desempeñan papeles fundamentales en la conformación de la respuesta de la producción. La productividad total de los factores “A” actúa como factor de escala, aumentando la productividad del capital y del trabajo. Un aumento de “A” se traduce en una mayor producción para los mismos niveles de K y L, desplazando efectivamente la función de producción hacia arriba.

Las elasticidades de producción del capital y del trabajo, denominadas  $\alpha$  y  $\beta$  respectivamente, cuantifican la capacidad de respuesta de la producción a los cambios porcentuales de cada insumo. Estas elasticidades también definen los rendimientos a escala en el proceso de producción: si la suma,  $\alpha + \beta = 1$ , la función presenta *rendimientos constantes a escala*, lo que implica que duplicar todos los insumos duplicará la producción. Por el contrario, si  $\alpha + \beta > 1$ , la función de producción muestra *rendimientos crecientes a escala*, lo que significa que duplicando los insumos se obtiene más del doble de la producción. Si  $\alpha + \beta < 1$ , indica *rendimientos decrecientes a escala*, es decir, que duplicando los insumos se obtiene menos del doble de la producción.

Sin embargo, esta formulación también implica que en un escenario teórico en el que el capital, el trabajo o ambos aumentan indefinidamente, la producción  $Y$  también aumentará indefinidamente. Este resultado se deriva directamente de la forma multiplicativa de Cobb-Douglas, en la que cada unidad de insumo contribuye a la producción total de forma proporcional a las elasticidades correspondientes  $\alpha$  y  $\beta$ . Aunque la producción total crece continuamente con el aumento de los insumos, el principio de los rendimientos marginales decrecientes, inherente a los valores de  $\alpha$  y  $\beta$ , modera este crecimiento. Aunque la producción total aumenta, la producción adicional generada por cada unidad subsiguiente de insumo disminuye a menos que la función opere bajo rendimientos crecientes a escala ( $\alpha + \beta > 1$ ). Sin embargo, esto no cambia el hecho de que, aunque la producción adicional disminuye en la mayoría de los escenarios, existe un supuesto subyacente relativo a la disponibilidad ilimitada de insumos.

Así, al no suponer límites superiores ni restricciones sobre los recursos, la función de producción Cobb-Douglas muestra una visión idealizada de la dinámica de producción. En escenarios económicos prácticos, esa producción ilimitada se ve restringida por la disponibilidad de recursos, las limitaciones tecnológicas y otros factores económicos. La propuesta de someter esta función a la frontera de posibilidades de producción de factores aborda este supuesto y fundamenta las posibilidades teóricas de producción de la función Cobb-Douglas dentro de los límites prácticos de la capacidad de producción. Esto se hace integrando una frontera o un techo en la producción que puede obtenerse, dados los recursos disponibles y la tecnología actual. Este límite, a su vez, está influido por los parámetros de eficiencia y fricción,  $1/\varphi$  y  $\varphi$ , respectivamente, que escalan el potencial de producción en función de las restricciones del mundo real, como las limitaciones tecnológicas, la disponibilidad de recursos y las eficiencias operativas. Además, al definir la producción máxima factible para determinados niveles de mano de obra y capital, la FPPF ayuda a analizar escenarios en los que la producción no sólo se ve influida por la cantidad de insumos utilizados, sino también por la eficiencia con la que se utilizan dichos insumos. Esto es especialmente importante para comprender cómo funcionan las economías con limitaciones de recursos o variaciones de eficiencia.

### 3.2.5. Resolución del modelo básico

Como ya se ha mencionado, el concepto de este modelo es optimizar una función de producción Cobb-Douglas sujeta a las restricciones proporcionadas por la FPPF.

La función de producción Cobb-Douglas viene dada por:

$$f(L, K) = AL^\beta K^\alpha$$

donde  $A > 0$ , y  $0 < \alpha, \beta \leq 1$ .

El equivalente log-lineal transformado de esta función es:

$$\ln(A) + \beta \ln(L) + \alpha \ln(K)$$

La optimización de la función Cobb-Douglas sujeta a la curva FPPF toma la forma de:

Maximizar:

$$\ln(A) + \beta \ln(L) + \alpha \ln(K)$$

Sujeto a:

$$Y = \frac{1}{\varphi} (\eta L^2 + \nu K^2)$$

Establecemos el Lagrangiano para este problema de maximización como:

$$\mathcal{L}(L, K, \lambda) = \ln(A) + \beta \ln(L) + \alpha \ln(K) - \lambda \left( \frac{1}{\varphi} (\eta L^2 + \nu K^2) - Y \right)$$

Las condiciones de primer orden vienen dadas por:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial L} = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial K} = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda} = 0$$

Resolviendo las condiciones de primer orden se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial L} = \frac{\beta}{L} - \lambda \frac{2L\eta}{\varphi} = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial K} = \frac{\alpha}{K} - \lambda \frac{2K\nu}{\varphi} = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda} = Y - \frac{1}{\varphi} (K^2\nu + L^2\eta) = 0$$

Y resolviéndolos se obtienen los siguientes valores óptimos posibles para  $L$ ,  $K$  y  $\lambda$  cuando se optimiza el Cobb-Douglas sujeta a la restricción SPF:

$$L = \pm \sqrt{\frac{Y\beta\varphi}{\eta(\alpha + \beta)}}; K = \pm \sqrt{\frac{Y\alpha\varphi}{\nu(\alpha + \beta)}}; \lambda = \frac{\alpha + \beta}{2Y}$$

Sin embargo, como se dijo antes,  $L, K, Y \in R^+$  y  $L, K, Y > 0$ . Además, debido a que  $\varphi \geq 1$  entonces,  $0 < 1/\varphi \leq 1$ , lo que implica que  $1/\varphi, \varphi \in R^+$ . Finalmente,  $\eta, \nu \in R^+$ , y  $0 < \eta, \nu \leq 1$ . Por lo tanto, sólo las soluciones existentes en  $R^+$  son posibles opciones óptimas dado el contexto de la FPPF. Esto arroja los siguientes valores óptimos para L, K y  $\lambda$ :

$$L^* = + \sqrt{\frac{Y\beta\varphi}{\eta(\alpha + \beta)}}$$

$$K^* = + \sqrt{\frac{Y\alpha\varphi}{\nu(\alpha + \beta)}}$$

$$\lambda^* = \frac{\alpha + \beta}{2Y}$$

### 3.2.6. Interpretaciones e implicaciones de los niveles óptimos

Los niveles óptimos de mano de obra ( $L^*$ ) y capital ( $K^*$ ) reflejan la interacción entre las productividades de estos insumos, su impacto en la producción, la eficiencia global del proceso de producción y el equilibrio entre la mano de obra y el capital en la contribución a la producción. Sugieren un punto de equilibrio en el que las cantidades de trabajo y capital empleadas maximizan la producción, teniendo en cuenta la productividad del trabajo y el capital y la eficiencia del sistema de producción. Veamos con más detalle el papel de cada componente de  $L^*$  y  $K^*$ . Consideremos las fórmulas que presentan los niveles óptimos de trabajo y de capital. La presencia de Y en el numerador de ambas ecuaciones sugiere que, a medida que aumenta la producción total, aumenta también la demanda de trabajo y de capital. Sin embargo, la raíz cuadrada indica que esta relación no es lineal, sino que disminuye a medida que crece Y, reflejando la ley de rendimientos marginales decrecientes.

Las elasticidades de la producción del trabajo  $\beta$  en  $L^*$  y del capital  $\alpha$  en  $K^*$  muestran cómo responde la producción a los cambios en estos insumos. Así, una mayor  $\beta$  aumentaría la cantidad óptima de mano de obra, lo que indica que cuando la mano de obra afecta significativamente a la producción, se emplea más mano de obra de forma óptima. Esta misma relación es válida cuando se analiza el papel de la elasticidad de la producción del capital  $\alpha$ : cuando el capital tiene un impacto considerable en la producción, se emplea más capital de forma óptima.

El papel de la fricción de producción,  $\varphi$ , es particularmente interesante a la hora de establecer los niveles óptimos de trabajo y capital. Para empezar, podemos ver que es directamente proporcional tanto a  $L^*$  como a  $K^*$ . Por lo tanto, a medida que aumenta  $\varphi$  (lo que indica una mayor fricción en la producción), los niveles óptimos de trabajo y capital también aumentan. Esto es intuitivo: si hay más fricción en el proceso de producción, lo que requiere más esfuerzo (mano de obra) o recursos

(capital) para producir una determinada producción, entonces la cantidad óptima de mano de obra o de capital tiene que aumentar.

Consideremos ahora el impacto de las productividades del trabajo y del capital en los niveles óptimos de trabajo y capital. Como sabemos, la  $\eta$  representa la productividad del trabajo o la eficacia con la que el trabajo contribuye a la producción. En este sentido, una mayor  $\eta$  disminuye la cantidad óptima de trabajo, ya que cada unidad de trabajo es más productiva. Esta misma relación es válida para  $v$ : cuanto más productivo es el capital, menor es la cantidad óptima de capital. Estas productividades, a su vez, se ven modificadas por el último componente del denominador, que incluye la suma de las elasticidades de producción del trabajo y del capital ( $\alpha + \beta$ ). Esta suma refleja el impacto combinado de las elasticidades sobre la producción, y si el sistema presenta rendimientos constantes ( $\alpha + \beta = 1$ ), crecientes ( $\alpha + \beta > 1$ ) o decrecientes ( $\alpha + \beta < 1$ ) a escalas. Así, en un escenario con rendimientos constantes a escala, las productividades de los factores permanecen inversamente relacionadas con los niveles óptimos de trabajo y capital, sin verse afectadas por la suma de las elasticidades. En un escenario con rendimientos crecientes a escala, las productividades de los factores aumentarán proporcionalmente a la suma de las elasticidades: como los factores son más productivos, la cantidad óptima necesaria es menor. En cambio, en un escenario con rendimientos decrecientes a escala, las productividades de los factores disminuyen proporcionalmente por la suma de las elasticidades: los factores son menos productivos, por lo que la cantidad óptima necesaria es mayor.

Centrémonos ahora en el valor final que encontramos en nuestro proceso de optimización. Para ello, es evidente entender que, en el contexto de una optimización lagrangiana,  $\lambda^*$  representa el precio sombra o el valor marginal de relajar la restricción. En este sentido, desde el punto de vista económico, puede considerarse como la producción adicional que podría obtenerse si la restricción de producción (representada por la FPPF) se relajara en una unidad. Por lo tanto, un mayor  $\lambda^*$  indica que hay una mayor ganancia potencial en la producción de la flexibilización de la restricción. Consideremos la ecuación para  $\lambda^*$ . La presencia de  $Y$  en el denominador relaciona inversamente  $\lambda^*$  con la producción total. A medida que aumenta la producción, el valor de  $\lambda^*$  disminuye, lo que sugiere que la utilidad marginal o el valor de relajar la restricción de producción disminuye a medida que la economía o la empresa se vuelven más productivas. Además, el numerador incluye la suma de las elasticidades de producción del trabajo y el capital, que refleja la capacidad de respuesta de la producción a los cambios proporcionales en ambos insumos. En este contexto, una mayor suma indica una mayor sensibilidad de la producción a los cambios en el trabajo y el capital, lo que aumenta el valor de  $\lambda^*$ , reflejando una mayor importancia de la asignación óptima de los recursos. Este último punto es especialmente interesante, ya que indica que  $\lambda^*$  proporciona una visión de cómo los cambios en el proceso de producción o la tecnología podrían afectar a la asignación óptima de los recursos. Por ejemplo, las mejoras en la tecnología o la eficiencia que aumentan  $Y$  disminuirían  $\lambda^*$ , lo que sugiere un beneficio marginal reducido de la relajación de las restricciones de producción, posiblemente debido a un uso más eficiente de los recursos. En esencia,  $\lambda^*$  encapsula las compensaciones económicas clave y las prioridades en el proceso de producción, lo que refleja cómo la asignación óptima de los recursos está influenciada por el nivel de producción global y la capacidad de respuesta de la producción a la mano de obra y el capital.

### 3.3. Frontera de Posibilidades Sostenibles

Como expusimos anteriormente, el papel de los parámetros de eficiencia y fricción es fundamental a la hora de considerar ampliaciones de este modelo. Considerando el papel de estos parámetros como expansores o contractores de la frontera de posibilidades de producción de los factores, se deduce lógicamente que, si modificamos estos parámetros para dar cuenta de factores externos, como la capacidad medioambiental, las necesidades sociales de subsistencia o incluso los choques inesperados, podemos modificar esencialmente toda la frontera FPPF para reflejar situaciones en las que el proceso de producción se ve afectado externamente. En otras palabras, podemos formalizar los efectos de distintos acontecimientos en la relación entre los insumos y su producción en un único modelo analítico. Para ilustrarlo, veamos cómo podemos modificar el límite de la FPPF para reflejar consideraciones ecológicas

#### 3.3.1. La frontera de las posibilidades sostenibles

En principio, la ecuación FPPF representa una frontera de lo que se puede producir dada una combinación de dos factores L y K. Ahora modificamos esta ecuación para generar una frontera adicional a la FPPF que correspondería al nivel máximo de producción que una economía puede producir sin generar una degradación duradera del medio ambiente. Denominamos a esta nueva frontera “Frontera de Posibilidades Sostenibles” (o FPS). La adición de esta frontera al modelo presenta tres escenarios: 1. Si la FPS es igual a la FPPF, la producción se ajusta a la capacidad ecológica, por lo que no se generan consecuencias ecológicas negativas ni es posible aumentar la producción sin generarlas; 2. Si la FPS es mayor que la FPPF, la capacidad ecológica es mayor que las posibilidades de producción actuales, por lo que es posible aumentar la producción sin generar consecuencias ecológicas negativas; y 3. Si la FPS es menor que la FPPF, la capacidad ecológica es mayor que las posibilidades de producción actuales, por lo que es posible aumentar la producción sin generar consecuencias ecológicas negativas. 3. Si la SPF es inferior al FPPF, aunque la producción sea posible, como muestra la FPPF, se está superando la capacidad ecológica de esa economía, lo que genera consecuencias ecológicas negativas.

Para generar la SPF, la FPPF puede modificarse de la siguiente manera. Consideremos de nuevo la ecuación FPPF,

$$Y = \frac{1}{\varphi}(\eta L^2 + \nu K^2)$$

Multiplicamos el término  $\varphi$  por una constante denominada “CE” (Constante Ecológica), compuesta por la relación entre la Biocapacidad y la Huella Ecológica para escalar el límite de la curva FPPF, generando esencialmente un nuevo límite además de la FPPF denominado Frontera de Posibilidades Sostenibles (o FPS). En principio, esta constante funciona como se presenta a continuación:

a.  $CE = \text{Biocapacidad} / \text{Huella Ecológica} = 1$ : Indica un equilibrio en el que la biocapacidad de la región coincide exactamente con la huella ecológica de la economía. El medio ambiente de la región es capaz de regenerar recursos y absorber residuos al mismo ritmo que la economía consume recursos y genera residuos.

b.  $CE = \text{Biocapacidad} / \text{Huella Ecológica} > 1$ : En este escenario la biocapacidad supera a la huella ecológica. Esto sugiere que el medio ambiente de la región tiene una mayor capacidad para producir recursos y absorber residuos que el nivel actual de consumo y generación de residuos de la economía. Indica una situación en la que la economía funciona de forma sostenible, infrautilizando sus recursos ecológicos en relación con lo que el medio ambiente puede regenerar y asimilar.

c.  $CE = \text{Biocapacidad} / \text{Huella Ecológica} < 1$ : En este caso, la huella ecológica supera la biocapacidad, lo que indica que la demanda de recursos y la generación de residuos por parte de la economía superan lo que el medio ambiente puede proporcionar y asimilar de forma sostenible. Esta situación apunta a prácticas insostenibles, en las que la economía está agotando los recursos más rápido de lo que pueden regenerarse y generando residuos por encima de la capacidad de absorción del medio ambiente, lo que conduce a una posible degradación ecológica y de los recursos.

En un sentido más práctico, esta modificación de la FPPF implicaría:

$$\varphi * CE = \tau$$

Matemáticamente, esto implica que cuando  $CE = 1$ , lo que indica un uso sostenible de los recursos, la CE no altera  $\varphi$ , por lo que  $\tau = \varphi$ . Entonces, la SPF se alinea con la FPPF, indicando que los niveles de eficiencia actuales son consistentes con el mantenimiento del equilibrio ecológico. En otras palabras, la producción de la economía está en equilibrio con la capacidad ecológica. En el escenario en el que  $CE < 1$ , lo que refleja un uso insostenible de los recursos, el límite de la SPF se contrae porque al multiplicar  $\varphi$  por un número inferior a 1 (CE) se obtiene un  $\tau$  inferior. Esto indica que la economía necesita reducir el uso de insumos para mantenerse dentro de los límites ecológicos, ya que la SPF muestra entonces un conjunto reducido de posibilidades de producción sostenible en comparación con la FPPF. Por otro lado, cuando  $CE > 1$ , lo que indica un uso de los recursos dentro de la capacidad ecológica, la SPF se amplía porque multiplicar  $\varphi$  por un número mayor que 1 da como resultado un  $\tau$  mayor. Esto sugiere que la economía tiene margen para utilizar más insumos sin sobrepasar los límites ecológicos. En otras palabras, el límite de la SPF se extiende más allá de la FPPF, lo que indica que existen más posibilidades de producción sostenible gracias a la capacidad ecológica infrautilizada.

### 3.3.2. Optimización de la producción sujeta a los límites ecológicos

Generamos la ecuación para el límite SPF como:

$$Y = \frac{1}{\tau} (\eta L^2 + \nu K^2)$$

Dónde:

$$\tau = \varphi * CE$$

Por supuesto, esto implicaría que, al igual que con  $\varphi$ , desde un punto de vista matemático  $\tau \in R^+$ . Sin embargo, a diferencia de  $\varphi$ ,  $\tau$  sólo tiene que ser mayor que cero. Además, otra implicación de

este arreglo es que, como se ha mostrado antes, si  $EC = 1$  entonces  $\tau = \varphi$ , lo que significa que el límite FPPF y el límite SPF son el mismo.

La optimización del Cobb Douglas sujeta al límite SPF funcionaría esencialmente de la misma manera que la optimización sujeta al límite FPPF:

Maximizar:

$$\ln(A) + \beta \ln(L) + \alpha \ln(K)$$

Tal que:

$$Y = \frac{1}{\tau}(\eta L^2 + \nu K^2)$$

El Lagrangiano se construye como:

$$\mathcal{L}(L, K, \lambda) = \ln(A) + \beta \ln(L) + \alpha \ln(K) - \lambda \left( \frac{1}{\tau}(\eta L^2 + \nu K^2) - Y \right)$$

Las condiciones de primer orden para esto son entonces:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial L} = \frac{\beta}{L} - \lambda \frac{2L\eta}{\tau} = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial K} = \frac{\alpha}{K} - \lambda \frac{2K\nu}{\tau} = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda} = Y - \frac{1}{\tau}(K^2\nu + L^2\eta) = 0$$

Y resolviéndolos se obtienen los siguientes valores óptimos para L, K y  $\lambda$  cuando se optimiza el Cobb Douglas sujeta a la restricción SPF:

$$L^{**} = + \sqrt{\frac{Y\beta\tau}{\eta(\alpha + \beta)}}$$

$$K^{**} = + \sqrt{\frac{Y\alpha\tau}{\nu(\alpha + \beta)}}$$

$$\lambda^{**} = \frac{\alpha + \beta}{2Y}$$

### 3.3.3. Interpretando el papel de $\tau$

De acuerdo con las explicaciones anteriores,  $\tau$  representa el parámetro de fricciones ajustado que tiene en cuenta las limitaciones ecológicas. Modifica el parámetro original de fricción de la

producción  $\varphi$  a través de la Constante Ecológica (CE), que refleja la relación entre la biocapacidad de la economía y su huella ecológica. Por lo tanto, podemos decir que  $\tau$  encarna las fricciones del proceso de producción teniendo en cuenta los límites ecológicos en los que este proceso participa. La presencia directa de  $\tau$  en las ecuaciones para  $L^{**}$  y  $K^{**}$  significa que las consideraciones ecológicas no son una ocurrencia tardía, sino parte integrante de la determinación de los niveles óptimos de insumos. Esta integración garantiza que los niveles óptimos derivados no sólo sean económicamente eficientes, sino también ecológicamente sostenibles.

Tanto para el nivel óptimo de trabajo ecológicamente ajustado como para el nivel óptimo de capital ecológicamente ajustado,  $\tau$  aparece en el numerador dentro de la raíz cuadrada, lo que significa que a medida que  $\tau$  aumenta o disminuye, tiene un efecto directamente proporcional sobre los valores de  $L^{**}$  y  $K^{**}$ . En este sentido, un aumento de  $\tau$  conduce a mayores niveles óptimos ecológicamente ajustados de trabajo y capital, lo que sugiere que con una mayor capacidad ecológica (o restricciones ecológicas menos estrictas), la economía puede permitirse utilizar más trabajo (o capital) para producir la producción deseada sin sobrepasar los límites ecológicos. Por el contrario, una disminución de  $\tau$  (que indica unas restricciones ecológicas más estrictas) tendría como resultado una disminución de  $L^{**}$  y  $K^{**}$ , lo que indicaría que la economía necesita reducir sus insumos de trabajo (o capital) para mantenerse dentro de unos límites ecológicos sostenibles.

Además, considerando que  $\tau$  depende de la relación entre  $\varphi$  y  $EC$ , es sensato interpretar su papel en la producción de los niveles óptimos de trabajo y capital ecológicamente ajustados considerando  $\varphi$ .

- a. Cuando  $\tau = \varphi$ , existe un equilibrio entre la capacidad ecológica y las necesidades económicas de producción. La SPF se alinea con la FPPF, indicando que el impacto ecológico del proceso de producción está dentro de límites sostenibles, por lo tanto,  $\tau$  no altera el proceso de producción, y los niveles óptimos de trabajo y capital reflejan los derivados únicamente de consideraciones de eficiencia económica. Por tanto, en este caso,  $L^{**} = L^*$ , y  $K^{**} = K^*$ .
- b. Si  $\tau > \varphi$ , la capacidad ecológica supera las necesidades actuales de producción. Esta condición sugiere que se puede aumentar la producción (utilizando, por tanto, más insumos) sin sobrepasar los límites ecológicos. En este caso,  $L^{**} > L^*$ , y  $K^{**} > K^*$ , lo que refleja un escenario especialmente relevante para economías con abundantes recursos naturales infrautilizados.
- c. Si  $\tau < \varphi$ , la capacidad ecológica es insuficiente para los niveles de producción actuales, lo que indica que la economía está funcionando por encima de su capacidad ecológica sostenible. En este caso, para ajustar los niveles de producción al umbral ecológico y evitar efectos adversos, debe reducirse la producción y, por tanto, el uso de insumos. En este caso,  $L^{**} < L^*$ , y  $K^{**} < K^*$ , lo que reflejaría la realidad de las economías que se enfrentan a presiones ecológicas, en las que es necesario recalibrar las prácticas de producción para lograr la sostenibilidad.

### 3.4. Piso mínimo de subsistencia

Al igual que con la curva SPF, podemos modificar la ecuación FPPF para que tenga en cuenta factores externos como la capacidad ecológica en la que tiene lugar el proceso de producción. También podemos modificar la FPPF para que tenga en cuenta factores sociales, como la pobreza y la desigualdad, que repercuten en el nivel mínimo de producción necesario para satisfacer la subsistencia básica. Por lo tanto, este FPPF modificado nos ayudará a considerar un Piso Mínimo de Subsistencia (MSF) en la producción. Presentado como un límite interno dentro de los límites de la FPPF y de la SPF, este suelo mínimo de subsistencia indicaría el nivel mínimo de producción necesario para satisfacer las necesidades de todos dentro de una sociedad cuando se consideran la pobreza y la desigualdad en un escenario ideal en el que se dan los supuestos del modelo FPPF. En otras palabras, este límite indica el nivel mínimo de producción necesario para satisfacer las necesidades humanas básicas de una sociedad, por lo que una producción por debajo de este límite indicaría que las necesidades humanas básicas de una economía no estarían cubiertas dada dicha producción mínima.

#### 3.4.1. El mínimo de subsistencia

Esta ampliación del modelo funciona modificando la FPPF de la siguiente manera para generar este límite mínimo de subsistencia:

Consideremos de nuevo la ecuación FPPF:

$$Y = \frac{1}{\varphi} (\eta L^2 + \nu K^2)$$

Multiplicamos el término  $\varphi$  por una constante denominada “SM” (Multiplicador de Subsistencia), compuesta por el producto entre la tasa de pobreza (presentada en una escala de 0 a 1, siendo 0 la ausencia total de pobreza y 1 la pobreza total) y el coeficiente de Gini (siendo 0 la igualdad total y 1 la igualdad total). Este multiplicador reducirá sustancialmente el límite de la curva FPPF, generando esencialmente un nuevo límite dentro de la FPPF denotado como Piso Mínimo de Subsistencia (PMS).

En términos prácticos, esto implicaría:

$$\varphi * SM = \psi$$

El multiplicador de subsistencia ajusta  $\varphi$  aumentándolo o reduciéndolo para obtener  $\psi$ , que es el parámetro utilizado en la ecuación del SM. Dado que el SM es un producto de la tasa de pobreza y el coeficiente de Gini, refleja el grado de desigualdad social y pobreza dentro de la economía. La multiplicación de  $\varphi$  por SM para obtener  $\psi$  ajusta esencialmente la fricción o eficiencia de la producción para reflejar las necesidades sociales. Un SM más alto, y por tanto un  $\psi$  más alto, indican disparidades sociales más pronunciadas (más pobreza y desigualdad), lo que a su vez significa que se necesitan más insumos y producción para garantizar que la economía satisface los niveles básicos de subsistencia.

Teniendo esto en cuenta, podemos analizar dos posibles escenarios resultantes del efecto del multiplicador. En primer lugar, si el  $SM$  es inferior a 1, podría indicar menores tasas de pobreza, menor desigualdad, o ambas cosas, lo que daría lugar a un  $\psi$  menor que  $\varphi$ . Esto contrae el límite de el MSF en relación con la FPPF. Un MSF contraído sugiere que la economía puede producir por encima del nivel mínimo de subsistencia de manera más eficiente, lo que refleja una situación en la que las necesidades básicas se satisfacen más fácilmente debido a las condiciones sociales favorables. En el otro extremo, consideremos una situación en la que el  $SM$  es igual a 1. Este escenario podría darse cuando la tasa de pobreza y el coeficiente de Gini son tales que su producto es igual a 1. En este caso,  $\psi$  es igual a 1. En este caso,  $\psi = \varphi$ , y el  $SM$  se alinea con la FPPF. Esto indica que el conjunto de la producción apenas alcanza para satisfacer las necesidades mínimas de subsistencia, lo que pone de manifiesto un equilibrio precario en el que la economía apenas satisface las necesidades básicas.

En pocas palabras, como el  $SM$  refleja el impacto combinado de la pobreza y la desigualdad, su efecto sobre el  $\psi$  subraya cómo estos factores sociales dictan el nivel de producción necesario para la subsistencia básica. Por tanto, el modelo resultante ajusta dinámicamente el límite del  $SM$  para reflejar la realidad social: más pobreza y desigualdad exigen una mayor producción global para garantizar la satisfacción de las necesidades básicas de todos.

### 3.4.2. Optimización de la producción sujeta al mínimo de subsistencia

La ecuación de la frontera MSF viene dada por

$$Y = \frac{1}{\psi}(\eta L^2 + \nu K^2)$$

donde,

$$\psi = \varphi * SM$$

Por supuesto, esto implicaría que, al igual que con  $\varphi$  y  $\tau$ , desde un punto de vista matemático  $\psi \in R^+$ , y, como  $\varphi$ ,  $0 < \psi \leq 1$ . Además, otra implicación de este arreglo es que, si  $SM = 1$ , entonces  $\psi = \varphi$ , lo que significa que el límite FPPF y el límite MSF son el mismo, indicando el peor escenario posible en el que toda la producción debe utilizarse para satisfacer las necesidades de la sociedad.

La optimización de la Cobb Douglas sujeta al límite MSF funciona esencialmente de la misma manera que las optimizaciones sujetas a los límites FPPF y SPF:

Maximizar:

$$\ln(A) + \beta \ln(L) + \alpha \ln(K)$$

Tal que:

$$Y = \frac{1}{\psi}(\eta L^2 + \nu K^2)$$

El Lagrangiano se construye entonces como:

$$\mathcal{L}(L, K, \lambda) = \ln(A) + \beta \ln(L) + \alpha \ln(K) - \lambda \left( \frac{1}{\psi} (\eta L^2 + \nu K^2) - Y \right)$$

Las condiciones de primer orden para esto son entonces:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial L} = \frac{\beta}{L} - \lambda \frac{2L\eta}{\psi} = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial K} = \frac{\alpha}{K} - \lambda \frac{2K\nu}{\psi} = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda} = Y - \frac{1}{\psi} (K^2\nu + L^2\eta) = 0$$

Los cuales después de ser resueltos arrojan los siguientes valores óptimos para L, K y  $\lambda$  cuando se optimiza el Cobb Douglas sujeto a la restricción MSF:

$$L^{***} = + \sqrt{\frac{Y\beta\psi}{\eta(\alpha + \beta)}}$$

$$K^{***} = + \sqrt{\frac{Y\alpha\psi}{\nu(\alpha + \beta)}}$$

$$\lambda^{***} = \frac{\alpha + \beta}{2Y}$$

### 3.4.3. Interpretación del papel de $\psi$

El parámetro  $\psi$  integra consideraciones sociales -específicamente la pobreza y la desigualdad- en el modelo económico, ajustando el parámetro de fricción  $\varphi$  para reflejar el nivel mínimo de producción necesario para satisfacer las necesidades básicas de subsistencia. Así, un  $\psi$  más alto sugiere disparidades sociales más significativas, que requieren un mayor nivel de insumos para garantizar la satisfacción de las necesidades mínimas de subsistencia. Podemos ver esto directamente en las ecuaciones para el nivel óptimo de trabajo ajustado a la subsistencia y el nivel óptimo de capital ajustado a la subsistencia. En estas ecuaciones,  $\psi$  influye directamente en la magnitud de  $L^{***}$  y  $K^{***}$ , donde un mayor  $\psi$  resulta en mayores valores óptimos de trabajo y capital, lo que indica la necesidad de más insumos de trabajo o capital para alcanzar el nivel de producción de subsistencia en una sociedad con mayores disparidades sociales, como la pobreza y la desigualdad significativas.

El papel de  $\psi$  en  $L^{***}$  y  $K^{***}$  subraya la importancia de considerar las dimensiones sociales en la modelización económica. Proporciona un mecanismo para cuantificar cómo los factores sociales

alteran la asignación óptima de recursos para lograr la subsistencia básica, ofreciendo una visión más holística de la eficiencia económica que incorpora el bienestar social.

### 3.5. Representación Gráfica de las fronteras FPPF, SPF, y MSF, y la función Cobb-Douglas

Una vez entendidos los procesos de optimización de la función de producción Cobb-Douglas sujeta a las restricciones de la FPPF, SPF y MSF, es necesario entender la representación gráfica del modelo. Como se mencionó anteriormente, al graficar las ecuaciones de las fronteras FPPF, SPF y MSF en un espacio  $\mathbb{R}^3$  con L y K en los ejes horizontales e Y en el eje vertical, obtenemos los cuartos de secciones correspondientes al eje positivo de tres cilindros elípticos concéntricos. Si adicionalmente graficamos la función Cobb-Douglas en este espacio es evidente cómo estas secciones de cilindros se presentan como “barreras” para la función de producción. Esto puede ser una ilustración más tangible de cómo el potencial de producción de la economía se expande o contrae con los cambios en el trabajo y el capital en el contexto de la eficiencia dada, así como los límites ecológicos y los niveles mínimos de subsistencia.

En este sentido, a continuación exponemos una representación bidimensional del modelo I3EP. La primera imagen muestra las interacciones de las curvas desde la perspectiva del eje horizontal, la segunda muestra las interacciones de las curvas desde la perspectiva vertical.

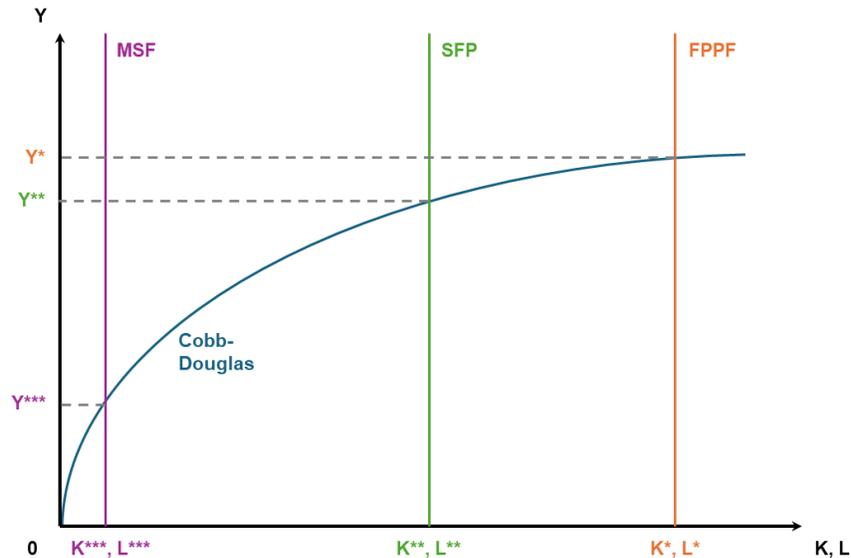


Figura 1: Representación bidimensional I3EP. Corte longitudinal de las curvas FPPF, SFP, MSF y Cobb-Douglas a lo largo de los ejes vertical y horizontales. Elaborado por el autor.

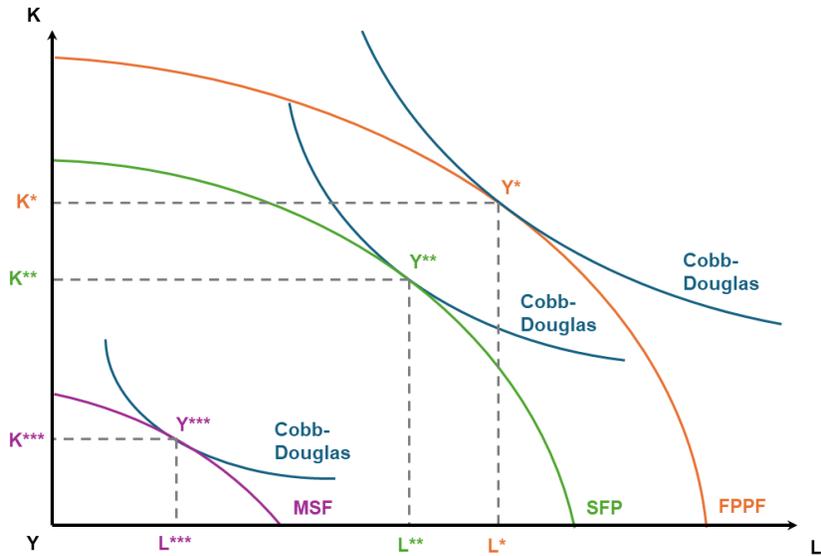


Figura 2: Representación bidimensional I3EP. Corte transversal de las curvas FPPF, SFP, MSF y Cobb-Douglas presentando una “perspectiva aérea” de los ejes horizontales. Elaborado por el autor.

En este mismo sentido, con el fin de esclarecer aún más la idea de cómo este modelo se presenta en un espacio tridimensional, las siguientes imágenes presentan la totalidad del modelo en un espacio  $\mathbb{R}^3$ . Podemos entender a estas proyecciones como la combinación de las figuras bidimensionales 1 y 2 para obtener estas proyecciones ortográficas del modelo I3EP.

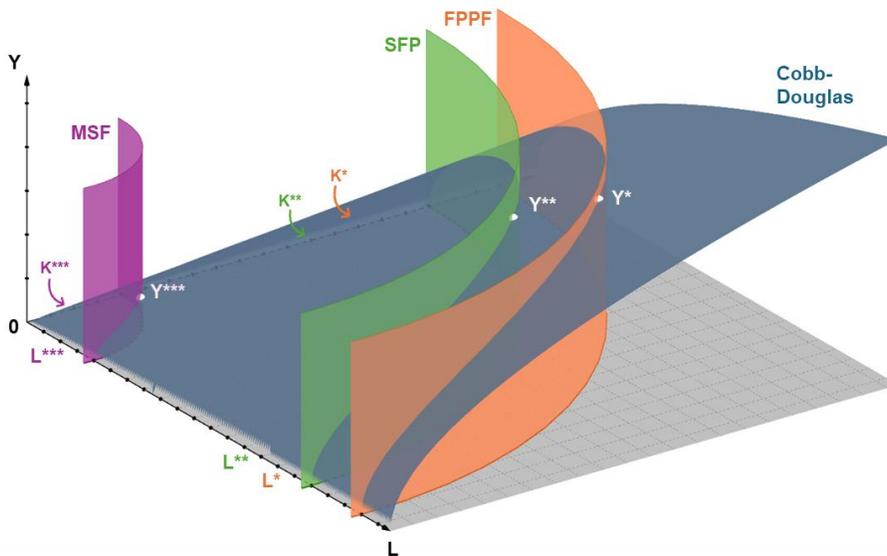


Figura 3: Representación Tridimensional I3EP. Proyección ortográfica de las curvas FPPF, SFP, MSF y Cobb-Douglas presentando una perspectiva lateral del modelo con el eje “Trabajo” (L) en primer plano. Elaborado por el autor.

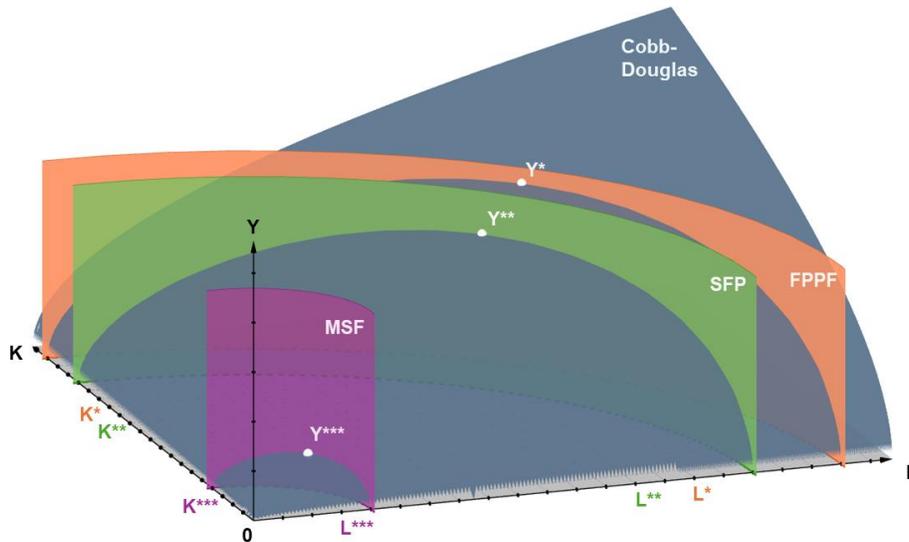


Figura 4: Representación Tridimensional I3EP. Proyección ortográfica de las curvas FPPF, SFP, MSF y Cobb-Douglas presentando una perspectiva lateral del modelo con el origen "0" en primer plano y priorizando el eje L. Elaborado por el autor.

### 3.6. Comentario final sobre el papel de $\varphi$

Como demuestran las ampliaciones del modelo FPPF básico, el parámetro de fricción de la producción es un componente central de todo el modelo I3EP. En esencia,  $\varphi$  encapsula la eficiencia intrínseca o fricción dentro del proceso de producción en el modelo FPPF, sirviendo como indicador fundamental de la eficacia con la que una economía o empresa puede transformar los insumos en productos. Cuando el modelo I3EP amplía la FPPF para incluir consideraciones ecológicas y sociales, creando la SFP y el MSF, el  $\varphi$  se modifica para incorporar estos factores externos, pero sigue siendo fundamental para la lógica subyacente de cada ampliación.

En la SFP,  $\varphi$  se ajusta mediante la Constante Ecológica ( $CE$ ) para reflejar las limitaciones ecológicas, lo que da como resultado  $\tau$ , que sigue estando fundamentalmente relacionado con  $\varphi$  pero en el contexto de la sostenibilidad ecológica. Del mismo modo, en el MSF,  $\varphi$  se modifica mediante el Multiplicador de Subsistencia ( $SM$ ) para tener en cuenta los niveles mínimos de subsistencia influidos por factores sociales, dando lugar a  $\psi$ , que mantiene una conexión directa con  $\varphi$  original.

Estas modificaciones no disminuyen la importancia del  $\varphi$ , sino que subrayan su centralidad al demostrar cómo las diversas facetas de las realidades económicas, ecológicas y sociales se filtran, en esencia, a través de la eficiencia/fricción fundamental del proceso de producción que representa el  $\varphi$ . Ya sea en el contexto de la pura eficiencia económica, la sostenibilidad ecológica o la equidad social, el  $\varphi$  sirve de punto de anclaje, traduciendo estas diversas consideraciones al lenguaje común de las posibilidades de producción. Así pues, el papel de  $\varphi$  trasciende los límites de la mera eficiencia económica para convertirse en un parámetro versátil e indispensable dentro del modelo I3EP, ofreciendo un modelo cohesivo e integrador para analizar e interpretar las complejas interacciones entre producción, ecología y sociedad.

Además, tras analizar las dos ampliaciones presentadas del modelo FPPF, queda claro que la operación aplicada al parámetro de fricción  $\varphi$  -ya sea la multiplicación por un cociente (como en la SPF) o por un producto (como en el MSF)- tiene una influencia tangible en la interpretación inherente de los parámetros resultantes ( $\tau$  y  $\psi$ ). Cuando  $\varphi$  se multiplica por una proporción ( $EC$  en el FPS), el ajuste refleja una escala directa basada en un único factor (la capacidad ecológica en este caso). Dicha fracción indica una relación proporcional en la que la capacidad ecológica escala directamente el parámetro de eficiencia. Este tipo de ajuste mantiene una relación directa y proporcional con el parámetro original, lo que significa que la interpretación de  $\tau$  sigue estando estrechamente ligada a  $\varphi$ , pero ahora está contextualizada dentro de un modelo ecológico. En cambio, cuando  $\varphi$  se multiplica por un producto ( $SM$  en el MSF), el ajuste refleja una interacción de múltiples factores (tasa de pobreza y desigualdad en este caso). Esto introduce una relación más compleja, ya que el producto representa un término de interacción que no escala  $\varphi$  linealmente, sino que lo modifica de manera que refleja la influencia combinada de dos factores sociales distintos. El parámetro  $\psi$  resultante incorpora estas intrincadas dimensiones sociales, lo que añade una capa de complejidad a su interpretación en comparación con el parámetro  $\tau$ , de escala más directa.

En esencia, aunque ambas operaciones ajustan el  $\varphi$  para tener en cuenta las limitaciones externas, la naturaleza de la operación (proporción frente a producto) influye en la profundidad y complejidad de la interpretación. La proporción (en la SPF) sugiere un ajuste de escala, manteniendo un vínculo claro y directo con el concepto original de eficiencia. En cambio, el producto (en el MSF) implica un ajuste de interacción, introduciendo una interpretación más matizada y compuesta que integra múltiples factores sociales en el parámetro de eficiencia. Aún así, la pregunta es: ¿qué nos dice esto sobre las implicaciones teóricas del papel de  $\varphi$  en la ampliación del modelo FPPF?

Las implicaciones teóricas de los ajustes lineales frente a los no lineales en el contexto de la ampliación del modelo FPPF para incluir consideraciones ecológicas y sociales (a través de la SPF y el MSF, respectivamente) proporcionan profundos conocimientos sobre la interacción entre los factores externos y la producción económica. Cuando hablamos de ajustes lineales en la SPF, la proporcionalidad directa entre la constante ecológica ( $CE$ ) y el parámetro de fricción  $\varphi$  permite interpretaciones y análisis sencillos. Esta linealidad significa que, si la capacidad ecológica se duplica, es previsible que el impacto en la frontera de posibilidades de producción también se duplique, manteniendo constantes otros factores. Esta previsibilidad ofrece una vía clara a los responsables políticos: las intervenciones encaminadas a mejorar la capacidad ecológica tienen un efecto directamente proporcional en la ampliación de las posibilidades de producción. Para los economistas, la relación lineal simplifica el análisis y permite prever y evaluar más fácilmente el impacto de los cambios ecológicos en la producción económica.

Por otra parte, los ajustes no lineales que se observan en el MSF, en el que el  $\varphi$  se ve modificado por el multiplicador de subsistencia ( $SM$ ) -un producto de la tasa de pobreza y el coeficiente de Gini- introducen un nivel de complejidad que refleja la intrincada naturaleza de los sistemas socioeconómicos. En esta configuración, un cambio en la pobreza o la desigualdad no tiene un efecto aditivo directo en las posibilidades de producción, sino que los efectos son multiplicativos, lo que refleja la dinámica interactiva entre estos dos factores. Por ejemplo, una ligera mejora de la desigualdad podría tener un impacto diferente en función del nivel de pobreza existente, y viceversa. Esta interacción no lineal requiere un enfoque analítico más matizado. Los economistas

deben considerar cómo los factores sociales entrelazados -cada uno influyendo y amplificando los efectos del otro- configuran el panorama económico. Subraya la realidad de que los problemas sociales están interconectados, y su impacto colectivo en la producción económica no es simplemente la suma de los efectos individuales, sino un producto de sus interacciones. Para los responsables políticos, esta no linealidad significa que las estrategias deben ser multidimensionales y estar coordinadas entre diferentes sectores. Las intervenciones para mejorar los niveles mínimos de subsistencia no pueden centrarse únicamente en un aspecto, como la reducción de la tasa de pobreza; también deben considerar cómo los cambios en la desigualdad pueden interactuar con estos esfuerzos.

### 3.7. Avances teóricos aportados por el modelo I3EP

El modelo I3EP pretende hacer una contribución teórica sustancial a la modelización de la producción abordando las deficiencias críticas de la función de producción Cobb-Douglas, concretamente su incapacidad para dar cuenta de las restricciones de los insumos. Esta sección explica en detalle cómo el modelo I3EP supera estas limitaciones y mejora nuestra comprensión de los procesos de producción económica.

#### *3.7.1. Abordando el supuesto de disponibilidad ilimitada de insumos*

Uno de los principales inconvenientes de la función de producción Cobb-Douglas es el supuesto subyacente de disponibilidad infinita de insumos. La formulación de la función implica que, siempre que se pueda acceder a insumos como la mano de obra y el capital, la producción puede aumentar indefinidamente, aunque esto se vea algo atenuado en escenarios con rendimientos decrecientes a escala. Este supuesto sobre la disponibilidad ilimitada de insumos parece muy poco realista en circunstancias reales, cuando los recursos son limitados y están sujetos a diversas restricciones.

El modelo I3EP aborda directamente esta cuestión introduciendo la Frontera de Posibilidades de Producción de Factores (FPPF), que define la producción máxima posible dados unos niveles específicos de mano de obra y capital en determinadas condiciones de eficiencia. La FPPF establece una frontera clara que encapsula los límites físicos y tecnológicos de la producción, proporcionando así una representación más realista del proceso de producción. Al incorporar el parámetro de eficiencia  $\varphi$ , que refleja las fricciones del proceso de producción, la FPPF garantiza que el modelo tenga en cuenta las limitaciones prácticas de la utilización de los insumos.

#### *3.7.2. Integración de limitaciones externas: Ecológicas y sociales*

Más allá del mero reconocimiento de los límites de disponibilidad de insumos, el modelo I3EP integra restricciones externas a través de la Frontera de Posibilidades Sostenibles (SPF) y el Suelo Mínimo de Subsistencia (MSF). Estas extensiones de la FPPF incorporan consideraciones ecológicas y sociales, respectivamente, añadiendo profundidad y contexto al modelo de producción.

La SPF ajusta el límite de producción para tener en cuenta la sostenibilidad ecológica, garantizando que los procesos de producción no superen la biocapacidad del medio ambiente. Esta modificación introduce una dimensión crítica de sostenibilidad en la función de producción, reconociendo que

las limitaciones ecológicas son fundamentales para la viabilidad económica a largo plazo. Al escalar el parámetro de eficiencia  $\varphi$  con la Constante Ecológica ( $CE$ ), la SPF se ajusta dinámicamente para reflejar los límites ecológicos, abordando así la cuestión de la degradación ambiental ignorada por la función Cobb-Douglas.

Del mismo modo, el MSF incorpora las limitaciones sociales ajustando el límite de producción para garantizar la satisfacción de las necesidades mínimas de subsistencia en una sociedad. Al tener en cuenta la tasa de pobreza y el coeficiente de Gini mediante el multiplicador de subsistencia ( $SM$ ), el MSF introduce la equidad social en el modelo de producción. Esta ampliación pone de relieve la importancia de tener en cuenta el bienestar social en la modelización económica, garantizando que los procesos de producción se ajusten a las necesidades básicas de la población.

### *3.7.3. Rigor matemático, relevancia práctica e implicaciones para la política y el análisis económico*

El modelo I3EP favorece la comprensión teórica al tiempo que mantiene el rigor matemático y la utilidad práctica de la modelización de la producción. En este sentido, la introducción de la FPPF, la SPF y el MSF modifica la función Cobb-Douglas, que pasa de ser una imagen estática y aislada de las circunstancias a un modelo dinámico y sensible al contexto.

La optimización de la función de producción Cobb-Douglas sujeta a las restricciones proporcionadas por la FPPF, la SPF y el MSF arroja niveles óptimos de mano de obra y capital que son realistas y aplicables a escenarios del mundo real, incluso si tenemos en cuenta los supuestos que utilizamos al construir el modelo. Estos valores óptimos reflejan la interacción entre la productividad de los insumos, la eficiencia y las restricciones externas, proporcionando una visión global de cómo deben utilizarse los recursos para maximizar la producción de forma sostenible y equitativa.

Adicionalmente, la estructura matemática del modelo I3EP, con sus parámetros claros y acotados, garantiza que el modelo siga siendo manejable y analíticamente robusto. Por ejemplo, al incorporar relaciones cuadráticas y parámetros de eficiencia bien definidos, el modelo I3EP mantiene los principios fundamentales de la teoría de la producción al tiempo que aborda las limitaciones y restricciones prácticas que configuran las actividades económicas del mundo real.

La inclusión de limitaciones ecológicas y sociales garantiza que las decisiones políticas tengan en cuenta las repercusiones más amplias de las actividades económicas, fomentando la sostenibilidad y el bienestar social. La capacidad del modelo para ajustar dinámicamente los límites de producción en respuesta a las cambiantes condiciones ecológicas y sociales constituye una valiosa herramienta para el análisis de escenarios y la planificación a largo plazo.

El modelo I3EP representa un avance teórico sustancial con respecto a la función de producción Cobb-Douglas. Al abordar las limitaciones de la disponibilidad de insumos e integrar las restricciones externas, el modelo I3EP proporciona un modelo más realista, riguroso y aplicable para analizar los procesos de producción. Esta mayor comprensión allana el camino para intervenciones políticas más eficaces y una comprensión más profunda de la compleja dinámica que impulsa los sistemas económicos.

## Capítulo 4: Validación empírica

### 4.1. Introducción al Capítulo

Este capítulo se enfoca en la validación empírica del modelo I3EP mediante la construcción y el uso de un conjunto de datos amplio y detallado que abarca diversas dimensiones de la actividad económica, la sostenibilidad, y consideraciones sociales. La estructura de este capítulo ha sido diseñada para asegurar un flujo lógico y coherente que facilite una comprensión exhaustiva de los métodos, datos y resultados obtenidos.

Comenzamos con la Sección 4.2: Recogida y preparación de datos, que detalla las fuentes y la preparación de los datos primarios y derivados esenciales para el análisis. Esta sección subraya la importancia de la transparencia y la reproducibilidad, proporcionando un análisis detallado de los enfoques utilizados para medir la producción, el capital y el trabajo, junto con los cálculos de los coeficientes de productividad y el parámetro de fricción. Además, se explica la derivación de las fricciones ecológicas y sociales, fundamentales para una evaluación integral en el esquema I3EP.

La Sección 4.3: Estimación de los niveles óptimos de capital, trabajo y producción, se centra en la metodología empleada para determinar los niveles óptimos de estos factores dentro del modelo I3EP. Esta sección se divide en varias fases: la recopilación y el procesamiento de los datos pertinentes, la sustitución de estos datos en las ecuaciones de nivel óptimo y el ajuste de estos niveles para alinearlos con las tendencias históricas. Este proceso de ajuste busca que los supuestos teóricos se alineen con la realidad empírica, aumentando la solidez y aplicabilidad del modelo. Además, se incluye un cálculo detallado de los niveles óptimos de producción bajo varios escenarios, proporcionando una visión de las potenciales ganancias en eficiencia y productividad.

En la Sección 4.4: Presentación de los datos de la serie temporal del valor óptimo, se presenta una tabla resumen exhaustiva que encapsula las variables económicas clave para Estados Unidos desde 1950 hasta 2018. Esta sección incluye no solo las tendencias históricas del stock de capital, la mano de obra y la producción, sino también los precios sombra calculados, los niveles óptimos ajustados de capital y mano de obra y las correspondientes producciones óptimas. Se presentan además los coeficientes de productividad del capital y del trabajo, así como los parámetros de fricción. Esta presentación de datos ofrece una representación clara y concisa de los resultados económicos históricos, contextualizando el impacto de diversos factores en el modelo I3EP.

El capítulo concluye con un análisis de las principales tendencias observadas en los datos, examinando las interrelaciones, repercusiones e implicaciones de estas variables dentro del esquema I3EP. Este análisis tiene como objetivo validar las predicciones del modelo frente a los datos históricos, evaluando su validez y solidez para explicar la dinámica económica del mundo real. Al recorrer sistemáticamente estas secciones, este capítulo no solo corrobora empíricamente el modelo I3EP, sino que también refuerza su pertinencia práctica y su credibilidad. Este enfoque promueve que los fundamentos teóricos del modelo se prueben rigurosamente y se ajusten a las observaciones empíricas, proporcionando así valiosas ideas para el análisis económico y la formulación de políticas.

## 4.2. Recogida y preparación de datos

Utilizamos un amplio conjunto de datos que abarca múltiples dimensiones de la actividad económica y la sostenibilidad para la validación empírica del esquema I3EP. Esta sección detalla las fuentes de los datos primarios y derivados utilizados en el análisis, garantizando la transparencia y la reproducibilidad en estudios posteriores.

Es esencial obtener datos fiables sobre la producción, el capital y el trabajo que puedan utilizarse como aproximaciones razonables a  $Y$ ,  $K$  y  $L$ . En este sentido, como proxy para  $Y$  elegimos datos del PIB real calculados por la Universidad de Groningen y la Universidad de California, Davis, como aproximación a la producción. En concreto, la serie del PIB real a precios nacionales constantes de Estados Unidos (nombre de la variable: RGDPAUSA666NRUG), obtenida de la base de datos del Banco de la Reserva Federal de San Luis (FRED). Esta serie proporciona datos anuales en millones de dólares estadounidenses de 2017, ajustados a la inflación para reflejar el poder adquisitivo constante. Los datos abarcan la producción económica de Estados Unidos, sirviendo como un indicador crucial del rendimiento económico general y un insumo primario para el esquema I3EP. En cuanto a  $K$ , los datos sobre stock de capital utilizados también proceden de la Universidad de Groningen y de la Universidad de California, Davis. La serie utilizada es el Capital Stock at Constant National Prices for the United States (nombre de la variable: RKNANPUSA666NRUG), obtenida de FRED. Este conjunto de datos, medido en millones de dólares estadounidenses de 2017, representa el valor de todos los activos físicos utilizados en la producción, ajustados por depreciación. Sirve como variable fundamental para calcular los niveles óptimos de capital en el modelo I3EP. Por último, el factor de trabajo  $L$  se mide por el total de horas trabajadas por empleados a tiempo completo y a tiempo parcial en EE.UU., procedente de la Oficina de Análisis Económico de EE.UU. La serie (nombre de la variable: B4701C0A222NBEA), recuperada de FRED, proporciona datos anuales en millones de horas, que reflejan el esfuerzo laboral agregado en la economía. Esta variable también es esencial para determinar los niveles óptimos de trabajo en el modelo I3EP.

Se manipularon los coeficientes de productividad del capital y del trabajo de la siguiente manera para obtener los coeficientes de productividad  $v$  y  $\eta$ . Los coeficientes de productividad del capital bruto y medio se calculan como la relación entre el PIB y el stock de capital. Estas variables derivadas proporcionan información sobre la eficiencia del uso del capital en la economía. El ratio bruto (variable: CPrCoRAW) se calcula directamente cada año, mientras que el ratio medio (variable: CPrCoMean) proporciona una medida de la tendencia central a lo largo de todo el periodo, lo que permite realizar comparaciones a lo largo del tiempo. Del mismo modo, los ratios de productividad laboral se obtienen como el cociente entre el PIB y las horas trabajadas. El ratio bruto (variable: LPrCoRAW) se calcula anualmente, y el ratio medio (variable: LPrCoMean) ofrece una medida media, facilitando el análisis de las tendencias de la eficiencia laboral a lo largo del tiempo. Para mejorar la robustez de los ratios de productividad, éstos se estandarizan utilizando sus respectivas medias y desviaciones típicas mediante la fórmula:  $Rationormalizado = (R - \mu) / \sigma$ , donde  $R$  es el ratio bruto,  $\mu$  es la media y  $\sigma$  es la desviación típica de los ratios brutos a lo largo de los años. Este proceso de normalización ajusta los datos para que tengan una media de cero y una desviación típica de uno, lo que hace más eficaz la aplicación posterior de la función sigmoidea. Los ratios normalizados proporcionan una medida más refinada de la productividad al centrar los datos y mejorar la sensibilidad a las variaciones. Por último, estos ratios estandarizados se transforman utilizando la función sigmoidea  $S = 1 / (1 + e^{-Rationormalizado})$ , obteniendo

coeficientes dentro del rango (0,1), denotados como  $v$  para la productividad del capital y  $\eta$  para la productividad del trabajo. Esta transformación garantiza que las medidas de productividad se ajusten a los límites matemáticos exigidos por el marco I3EP, facilitando una modelización más precisa de la eficiencia de la producción.

En lo que respecta a la fricción y la eficiencia, el parámetro de fricción ( $\varphi$ ) se deriva de la manipulación de la ecuación FPPF “ $Y = \frac{1}{\varphi}(\eta L^2 + vK^2)$ ” para representar la relación entre los resultados de la productividad a escala combinada del trabajo y el capital y la producción económica total:  $\varphi = \frac{(\eta L^2 + vK^2)}{Y}$ . Este parámetro cuantifica las ineficiencias en el proceso de producción, con valores más altos que indican mayores fricciones. Teniendo esto en cuenta, las fricciones se cuantifican en el modelo FPPF en “Unidades de Fricción”. Una Unidad de Fricción ( $\varphi$ ) se define como la medida unitaria de la proporción de producción efectivamente “consumida” o “perdida” por ineficiencias y fricciones dentro del sistema económico. En este sentido, un valor  $\varphi$  más alto indicaría una mayor pérdida de producción potencial debido a estas ineficiencias. El recíproco ( $1/\varphi$ ) proporciona la eficiencia. Expresadas en porcentaje, las medidas de eficiencia más elevadas indican que la economía se aproxima a la eficiencia óptima, lo que significa que se “desperdician” o pierden recursos mínimos a causa de las fricciones. Los porcentajes cercanos a 1 (o 100% cuando se transforma) significan que la economía funciona cerca de su potencial. Un Porcentaje de Eficiencia bajo sugiere ineficiencias significativas dentro del sistema económico, donde una gran parte de la producción es consumida por fricciones.

Las elasticidades de producción del capital ( $\alpha$ ) y del trabajo ( $\beta$ ) proceden del estudio de Dietrich Vollrath, “The Elasticity of Aggregate Output with Respect to Capital and Labor”, publicado en el *American Economic Journal: Macroeconomics*. Vollrath presenta cuatro cálculos de las estimaciones anuales de referencia de las elasticidades, bajo cuatro supuestos: 1. el supuesto de ausencia de beneficios, 2. el supuesto del coste de depreciación, 3. el supuesto del coste de inversión y 4. el supuesto del coste para el usuario. Sus estimaciones bajo el “supuesto de coste para el usuario” son especialmente interesantes, ya que implican un cálculo detallado que incluye la inflación esperada, la depreciación y el tipo de interés nominal, lo que refleja un enfoque global de la estimación de los costes de capital. Este método es el más acorde con el énfasis del modelo I3EP en la integración de dinámicas económicas detalladas y el tratamiento de las complejidades del mundo real. Por inspección, observamos que podemos combinar las elasticidades con respecto a las Estructuras, el Equipamiento y la PI, en una elasticidad cohesiva del capital que podemos seguir utilizando para las estimaciones del I3EP, ya que este valor, cuando se añade a la elasticidad del trabajo que obtenemos directamente del estudio de Vollrath, se aproxima a 1, siguiendo la convención económica. Estas elasticidades son cruciales para el modelo I3EP, ya que cuantifican la capacidad de respuesta de la producción a los cambios en los insumos de capital y trabajo, respectivamente.

En cuanto a las variables relacionadas con la frontera medioambiental, utilizamos datos de huella ecológica (variable: EFConsTotGHA) y biocapacidad (variable: BiocapTotGHA). Estos datos proceden de la Footprint Data Foundation, la York University Ecological Footprint Initiative y la Global Footprint Network. Con un rango de 1961 a 2018, estos conjuntos de datos miden la superficie de tierra y agua biológicamente productiva necesaria para sostener el consumo humano y la producción de residuos, y la capacidad de los ecosistemas para regenerar estos recursos, ambos en “hectáreas globales”. La constante ecológica (CE) se deriva de la relación entre la biocapacidad

y la huella ecológica, indicando la sostenibilidad del uso de los recursos, como se explica con más detalle en la especificación del modelo. Por otro lado, en lo que respecta a los datos de pobreza y desigualdad (variables: SI.POV.UMIC% y SI.POV.GINI) necesarios para estimar el MSF, las métricas proceden de la Plataforma de Pobreza y Desigualdad del Banco Mundial. Con un rango temporal de 1963 a 2018, el índice de recuento de la pobreza a 6,85 dólares estadounidenses al día (PPA de 2017) proporciona el porcentaje de la población que vive por debajo de este umbral de pobreza, mientras que el índice de Gini mide la desigualdad de ingresos. Estas métricas son cruciales para calcular el multiplicador de subsistencia ( $SM$ ) y, posteriormente, el parámetro de fricción social ( $\psi$ ).

#### 4.3. Estimación de los niveles óptimos de capital, trabajo y producción

La estimación de los niveles óptimos en el modelo I3EP sigue un planteamiento sistemático, aprovechando aproximaciones establecidas y datos históricos para derivar parámetros críticos y calcular valores óptimos. Así, una vez recopilados los datos y calculados los parámetros, los valores resultantes se sustituyeron en las ecuaciones del nivel óptimo para cada periodo de tiempo ( $t$ ). Para el nivel óptimo de mano de obra, la ecuación viene dada por:

$$L_t^* = \sqrt{\frac{Y_t \beta_t \varphi_t}{\eta_t (\alpha_t + \beta_t)}}$$

Del mismo modo, el nivel óptimo de capital se calcula utilizando:

$$K_t^* = \sqrt{\frac{Y_t \alpha_t \varphi_t}{v_t (\alpha_t + \beta_t)}}$$

El precio sombra,  $\lambda^*$ , que representa el valor marginal de relajar la restricción de producción, viene determinado por:

$$\lambda_t^* = \frac{\alpha_t + \beta_t}{2Y_t}$$

A continuación, se calcularon los niveles óptimos de mano de obra y capital para el SPF y el MSF. Para los niveles óptimos del SPF, las ecuaciones utilizadas fueron:

$$L_t^{**} = \sqrt{\frac{Y_t \beta_t \tau_t}{\eta_t (\alpha_t + \beta_t)}}$$

$$K_t^{**} = \sqrt{\frac{Y_t \alpha_t \tau_t}{v_t (\alpha_t + \beta_t)}}$$

Para los niveles óptimos de MSF, las ecuaciones fueron:

$$L_t^{***} = \sqrt{\frac{Y_t \beta_t \psi_t}{\eta_t (\alpha_t + \beta_t)}}$$

$$K_t^{***} = \sqrt{\frac{Y_t \alpha_t \psi_t}{v_t (\alpha_t + \beta_t)}}$$

Es importante señalar que no fue necesario calcular  $\lambda^{**}$  y  $\lambda^{***}$  como precios sombra para el SPF y el MSF, ya que comparten la misma fórmula que el precio sombra para el FPPF. Dado que las variables sustitutivas y los parámetros eran coherentes en todos los marcos, los precios sombra arrojarían resultados idénticos:

$$\lambda^* = \lambda^{**} = \lambda^{***}$$

Aplicando sistemáticamente esta metodología, los niveles óptimos de mano de obra y capital para cada curva (FPPF, SPF y MSF) fueron estimados con precisión, permitiendo un análisis de los resultados económicos históricos y la validación del modelo I3EP.

#### 4.3.3. Ajuste de los niveles óptimos

Los niveles óptimos de capital y trabajo derivados de los cálculos del modelo I3EP se basan inicialmente en supuestos teóricos que no siempre se ajustan perfectamente a los datos del mundo real. En este sentido, es necesario abordar específicamente el supuesto de sustituibilidad entre capital y trabajo. Por lo tanto, aunque los cálculos originales aportan información valiosa, es crucial ajustar estos valores para garantizar que reflejen las tendencias históricas y los escenarios del mundo real. Este proceso de ajuste ayuda a reducir la distancia entre las predicciones teóricas y las observaciones empíricas.

Para ello, calculamos los “Niveles óptimos ajustados” de capital y trabajo. Para la FPPF, el nivel óptimo ajustado de capital ( $Adj.K^*$ ) se determina dividiendo  $K^*$  por la media geométrica de la relación  $K^*/K$ . Del mismo modo, el nivel óptimo ajustado de mano de obra ( $Adj.L^*$ ) se obtiene dividiendo  $L^*$  por la media geométrica de la relación  $L^*/L$ . El mismo procedimiento se aplica al SPF y al MSF:

Para el SPF:

$$Adj.K^{**} = \frac{K^{**}}{GM\left(\frac{K^*}{K}\right)}$$

$$Adj.L^{**} = \frac{L^{**}}{GM\left(\frac{L^*}{L}\right)}$$

Para el MSF:

$$Adj. K^{***} = \frac{K^{***}}{GM\left(\frac{K^*}{K}\right)}$$

$$Adj. L^{***} = \frac{L^{***}}{GM\left(\frac{L^*}{L}\right)}$$

Las ratios  $K^*/K$  y  $L^*/L$  miden la proporción entre los niveles óptimos teóricos y los niveles históricos reales de capital y trabajo, respectivamente. Al utilizar la media geométrica de estas proporciones, conseguimos un factor de escala equilibrado y robusto que tiene en cuenta las variaciones a lo largo de todo el período estudiado. La media geométrica es especialmente adecuada en este contexto porque proporciona una tendencia central que está menos influida por los valores extremos en comparación con la media aritmética. Esto es esencial cuando se trata de datos económicos que pueden presentar fluctuaciones significativas.

Escalar los valores óptimos de este modo garantiza que la presunción del modelo en relación a la sustituibilidad entre trabajo y capital no conduzca a predicciones económicas poco realistas. Al alinear los niveles óptimos teóricos con las tendencias históricas, mantenemos la integridad del modelo mientras aumentamos su relevancia empírica. Este proceso de ajuste ayuda a presentar los valores óptimos en una escala que tiene sentido lógico, teórico y empírico, permitiendo una comparación más precisa y significativa con los datos del mundo real.

#### 4.3.4. Cálculo de los niveles óptimos de producción

Una vez ajustados los niveles óptimos de mano de obra y capital para reflejar las tendencias históricas y mantener proporciones realistas, el siguiente paso consiste en calcular los correspondientes niveles óptimos de producción para los escenarios FPPF, SPF y MSF. De este modo, podemos evaluar las ganancias potenciales de eficiencia y productividad en cada escenario dentro del modelo I3EP. Este cálculo no sólo valida los ajustes realizados en los niveles óptimos, sino que también proporciona una comprensión más profunda del rendimiento de la economía cuando opera en estos niveles óptimos. En esta sección se explica la metodología de cálculo de los productos óptimos  $Y^*$ ,  $Y^{**}$  y  $Y^{***}$  y se analiza su importancia teórica y empírica.

El objetivo del cálculo de los valores  $Y^*$ ,  $Y^{**}$  e  $Y^{***}$  es determinar los niveles óptimos de producción en diferentes escenarios dentro del esquema I3EP. Estos valores se interpretan como los niveles óptimos de producción cuando la economía funciona con los niveles óptimos ajustados de trabajo y capital derivados de la Frontera de Posibilidades de Producción de Factores (FPPF), la Frontera de Posibilidades de Sostenibilidad (SPF) y el Suelo Mínimo de Subsistencia (MSF), respectivamente. De este modo, obtenemos información sobre las ganancias potenciales de eficiencia y productividad en cada escenario, reflejando condiciones y limitaciones económicas realistas.

Para calcular estos valores óptimos de producción, empezamos por sustituir los niveles óptimos ajustados de trabajo y capital en la ecuación FPPF. Sabemos que la ecuación FPPF viene dada por:

$$Y = \frac{1}{\varphi} (\eta L^2 + \nu K^2)$$

Para el escenario FPPF, sustituimos L y K por  $Adj.L^*$  y  $Adj.K^*$  para obtener  $Y^*$ :

$$Y^* = \frac{1}{\varphi} (\eta(Adj.L^*)^2 + v(Adj.K^*)^2)$$

Del mismo modo, para el escenario SPF, sustituimos L y K por  $Adj.L^{**}$  y  $Adj.K^{**}$  para obtener  $Y^{**}$ :

$$Y^{**} = \frac{1}{\varphi} (\eta(Adj.L^{**})^2 + v(Adj.K^{**})^2)$$

Para el escenario MSF, sustituimos L y K por  $Adj.L^{***}$  y  $Adj.K^{***}$  para obtener  $Y^{***}$ :

$$Y^{***} = \frac{1}{\varphi} (\eta(Adj.L^{***})^2 + v(Adj.K^{***})^2)$$

Este método tiene sentido tanto teórico como empírico. Teóricamente, los niveles óptimos ajustados de trabajo y capital se derivan para reflejar las tendencias históricas y mantener proporciones realistas. Al utilizar estos valores ajustados, buscamos que las predicciones de nuestro modelo se basen en la realidad empírica. Esta alineación entre teoría y datos empíricos es crucial para la validez y aplicabilidad del marco I3EP. Empíricamente, la aplicación de los niveles óptimos ajustados a la ecuación FPPF nos permite evaluar hasta qué punto nuestro modelo teórico puede acercarse a la explicación de los resultados históricos reales. Los ajustes garantizan que los niveles óptimos de mano de obra y capital se escalan adecuadamente, reflejando las condiciones económicas de la vida real. Esto no sólo mejora la coherencia interna del modelo, sino que también proporciona un conjunto más preciso y realista de valores óptimos de producción.

Por último, en el contexto del modelo I3EP, calcular  $Y^*$ ,  $Y^{**}$  e  $Y^{***}$  utilizando los niveles óptimos ajustados nos permite cuantificar los niveles potenciales de producción en diferentes escenarios teóricos, teniendo en cuenta tanto las limitaciones ecológicas como las de subsistencia. Este enfoque puede ofrecer información valiosa sobre la eficiencia y la productividad de la economía en distintas condiciones, lo que resulta esencial para la elaboración de políticas y la planificación económica con conocimiento de causa. Además, valida la solidez y pertinencia del modelo I3EP al demostrar que las predicciones teóricas pueden ajustarse a los datos empíricos, aumentando así la credibilidad y utilidad práctica del modelo.

#### 4.4. Presentación de los datos de la serie temporal del valor óptimo

Para proporcionar una visión global de las variables económicas clave para EE.UU. desde 1950 hasta 2018, presentamos una tabla resumen que incluye el stock de capital (K), las horas trabajadas (L), la producción (Y), el precio sombra ( $\lambda^*$ ), los niveles óptimos ajustados de capital y trabajo, y las correspondientes producciones óptimas para la Frontera de Posibilidades de Producción de Factores (FPPF), la Frontera de Posibilidades Sostenibles (SPF) y el Suelo Mínimo de Subsistencia (MSF). Además, se incluyen los coeficientes de productividad del capital ( $v$ ) y del trabajo ( $\eta$ ), así como el parámetro de fricción ( $\varphi$ ), las fricciones ecológicas ( $\tau$ ) y las fricciones sociales ( $\psi$ ). Esta tabla ofrece una representación clara y concisa de las tendencias históricas y del impacto de los

distintos factores en la economía estadounidense durante el periodo estudiado. En el Anexo 1 se presenta un cuadro más detallado con todas las variables obtenidas y calculadas.

#### 4.4.1. Los datos

La tabla está estructurada para incluir las siguientes variables clave para cada año desde 1950 hasta 2018:

- *observation\_date*: El año concreto de observación, medido en años.
- *K (Capital)*: El valor total del capital disponible, medido en millones de dólares estadounidenses de 2017, anual, sin desestacionalizar. Indica el stock total de capital en la economía.
- *L (Horas trabajadas)*: El número total de horas trabajadas por los asalariados a tiempo completo y a tiempo parcial, medido en millones de horas, anuales, sin desestacionalizar. Representa el insumo de mano de obra en la economía.
- *Y (Producción)*: PIB real a precios nacionales constantes, medido en millones de dólares estadounidenses de 2017, anual, sin desestacionalizar. Esta variable representa la producción económica total de Estados Unidos.
- $\lambda^*$  (*Precio sombra*): El valor marginal de relajar la restricción de producción, medido en millones de dólares estadounidenses de 2017, anuales, sin desestacionalizar. Representa la producción adicional que podría obtenerse si la restricción de producción se relajara en una unidad.
- *Adj. K\** (*nivel óptimo de capital ajustado*): El nivel óptimo ajustado de capital, medido en millones de dólares estadounidenses de 2017, anual, no ajustado estacionalmente. Se escala para reflejar las proporciones de la vida real.
- *Adj. L\** (*Nivel óptimo ajustado de mano de obra*): El nivel óptimo ajustado de mano de obra, medido en millones de horas, anuales, sin desestacionalizar.
- *Y\** (*Producción óptima para la FPPF*): La producción óptima para la Frontera de Posibilidades de Producción de Factores, medida en millones de dólares estadounidenses de 2017, anual, sin desestacionalizar.
- *Adj. K\*\** (*Nivel óptimo ajustado de capital ecológicamente ajustado*): El nivel óptimo ajustado de capital ecológicamente ajustado, medido en millones de dólares estadounidenses de 2017, anual, sin desestacionalizar.
- *Adj. L\*\** (*Nivel óptimo ajustado de mano de obra ecológicamente ajustada*): El nivel óptimo ajustado de mano de obra ecológicamente ajustada, medido en millones de horas, anuales, sin desestacionalizar.
- *Adj. Y\*\** (*Producción óptima ajustada ecológicamente para la SPF*): La producción óptima para la Frontera de Posibilidades Sostenibles, medida en millones de dólares estadounidenses de 2017, anual, sin desestacionalizar.
- *Adj. K\*\*\** (*Nivel óptimo ajustado de capital mínimo necesario para la subsistencia*): El nivel óptimo ajustado de capital mínimo necesario para la subsistencia, medido en millones de dólares estadounidenses de 2017, anual, sin desestacionalizar.
- *Adj. L\*\*\** (*Nivel óptimo ajustado de mano de obra necesaria para la subsistencia mínima*): El nivel óptimo ajustado de mano de obra necesaria para la subsistencia mínima, medido en millones de horas, anuales, sin desestacionalizar.

- $Adj.Y^{***}$  (*Producción óptima del Mínimo de Subsistencia para el MSF*): La producción óptima para el Piso Mínimo de Subsistencia, medida en millones de dólares estadounidenses de 2017, anual, sin desestacionalizar.
- $v$  (*Coefficiente de productividad del capital*): Coeficiente que oscila entre 0 y 1 y representa la productividad del capital.
- $\eta$  (*Coefficiente de Productividad Laboral*): Coeficiente que oscila entre 0 y 1 y representa la productividad del trabajo.
- $\varphi$  (*Parámetro de fricción*): Medido en unidades de fricción, esta variable representa la proporción de producción efectivamente “consumida” o “perdida” por ineficiencias y fricciones dentro del sistema económico. Un mayor valor de  $\varphi$  indica una mayor ineficiencia.
- $\tau$  (*Fricciones ecológicas*): Medida en unidades de fricción ecológica, esta variable representa el impacto ecológico de las actividades económicas. Un valor bajo indica una alta eficiencia ecológica, lo que significa que las fricciones causan una tensión ecológica mínima. Por el contrario, un valor alto indica una eficiencia ecológica baja, en la que las actividades económicas ejercen una presión considerable sobre el sistema ecológico.
- $\psi$  (*Fricciones sociales*): Medida en unidades de fricción social, esta variable representa el impacto social de las actividades económicas. Un valor más alto indica una menor eficiencia social, lo que sugiere una tensión significativa debida a condiciones sociales como la desigualdad y la pobreza. Un valor más bajo indica una alta eficiencia social, con una tensión social mínima.

Tabla 1. Capital, Trabajo, Producción, Óptimos, Fricciones y Productividades

observation_date	K	L	Y	$\lambda^*$	Adj.K*	Adj.L*	Y*	Adj.K**	Adj.L**	Y**	Adj.K***	Adj.L***	Y***	$\nu$	$\eta$	$\phi$	$\tau$	$\psi$
1950	10563268	100064	2466594.8	1233420.7	7278304.9	59509.0	1398828.3	.	.	.	.	.	.	0.152	0.181	6858388.8	.	.
1951	10898386	108525	2665368.0	1332550.7	8260082.4	78983.9	1070945.3	.	.	.	.	.	.	0.258	0.180	11487451.9	.	.
1952	11258935	110757	2773902.8	1387090.1	10595627.7	79594.6	1625392.3	.	.	.	.	.	.	0.279	0.185	12755078.7	.	.
1953	11667803	112184	2904121.8	1452060.9	11640284.8	83563.5	1790438.6	.	.	.	.	.	.	0.311	0.192	14563152.0	.	.
1954	12058041	107712	2887745.3	1444017.0	12258782.1	67912.8	2946897.6	.	.	.	.	.	.	0.204	0.201	10261416.6	.	.
1955	12496091	111238	3093408.0	1546704.0	10351043.5	87700.2	1526319.1	.	.	.	.	.	.	0.294	0.211	14818503.0	.	.
1956	12930121	113637	3159364.8	1579682.4	10727867.1	84595.2	1798230.7	.	.	.	.	.	.	0.255	0.211	13505617.1	.	.
1957	13353822	113304	3225886.0	1612943.0	12839625.9	77478.8	2888623.5	.	.	.	.	.	.	0.225	0.218	12430619.9	.	.
1958	13737182	109709	3202169.0	1601084.5	14662175.6	61167.4	5533274.1	.	.	.	.	.	.	0.148	0.225	8751805.8	.	.
1959	14221670	113164	3423191.0	1711595.5	14651318.4	75625.8	3981912.3	.	.	.	.	.	.	0.216	0.237	12756845.3	.	.
1960	14693055	114721	3510944.8	1755472.4	15858982.0	72854.3	4952535.9	.	.	.	.	.	.	0.199	0.241	12214318.7	.	.
1961	15185855	114607	3600618.8	1800489.4	15969505.3	71487.2	5474233.0	12651984.3	56636.4	3436035.5	.	.	.	0.182	0.250	11627310.5	7298164.2	.
1962	15739644	118097	3820850.3	1910425.1	16276968.5	83566.2	4478666.9	12838247.9	65911.8	2786206.1	.	.	.	0.237	0.260	15399135.3	9579896.3	.
1963	16340958	120093	3987209.8	1993604.9	16863768.4	87665.1	4566266.3	13417732.6	69751.2	2890748.1	2251473.8	11704.1	81392.8	0.251	0.270	16832814.4	10656283.0	300041.4
1964	17002594	122889	4217154.5	2108577.3	16568046.7	99303.9	3792919.7	13249624.9	79414.3	2425706.2	2109517.7	12643.8	61489.0	0.300	0.284	20535884.3	13133423.6	332917.9
1965	17730630	127604	4491258.0	2245629.0	17169672.4	113174.6	3354386.8	13635429.8	89878.5	2115567.0	2036131.8	13421.2	47173.8	0.370	0.295	25896899.8	16332829.4	364196.3
1966	18508236	133972	4787384.5	2393692.3	17280076.6	130004.4	2810643.2	13230078.5	99534.8	1647552.4	2124429.1	15982.9	42481.4	0.448	0.301	32026949.1	18773665.9	484070.6
1967	19239902	136172	4918733.5	2459366.8	18424800.3	126233.1	3425970.1	13546073.8	92807.7	1851846.0	2017437.2	13822.0	41075.0	0.403	0.306	30360089.0	16410595.3	363996.8
1968	19990580	139143	5160197.5	2579840.7	17662561.3	137486.6	2921441.5	12734588.8	99126.9	1518657.0	1765414.0	13742.1	29186.6	0.440	0.319	34053280.3	17701963.6	340208.2
1969	20734748	143024	5322265.5	2661132.8	19338362.1	136600.1	3546847.0	13898090.3	98171.7	1831948.8	1835014.9	12962.0	31936.1	0.418	0.321	33798509.9	17456952.8	304324.8
1970	21379038	140823	5332994.5	2666763.9	21024886.6	119003.0	5343959.6	14434678.9	81701.8	2518895.2	2204155.8	12475.7	58732.8	0.318	0.329	27234663.7	12837159.8	299322.4
1971	22033236	140043	5508630.0	2754315.0	18977318.6	125382.7	4386531.8	13027087.4	86069.7	2067027.4	1823205.4	12045.9	40487.7	0.325	0.349	28657119.2	13503846.3	264505.1
1972	22780132	144127	5798322.5	2899451.2	20664910.5	137115.6	4452118.2	14292700.6	94834.8	2129748.0	1978453.0	13127.4	40808.5	0.387	0.361	34666436.7	16583291.6	317755.9
1973	23606602	150314	6125680.0	3062840.0	17786928.4	159969.9	2788162.3	11888290.0	106919.5	1245532.1	1603389.3	14420.4	22656.6	0.460	0.369	41840416.2	18691014.0	339994.6
1974	24310780	150547	6092568.0	3045979.4	14369638.0	145807.7	2330951.2	9552229.8	96925.8	1030032.8	1353310.3	13731.9	20674.6	0.333	0.365	32312689.0	14278775.6	286600.0
1975	24845794	146463	6080049.5	3040024.8	23658977.2	117694.3	8062222.1	16075153.8	79967.7	3721972.0	2229082.1	11088.8	71567.4	0.259	0.379	26343453.3	12161609.4	233847.6
1976	25479508	150687	6407651.0	3203825.5	25536692.3	134144.3	7352239.3	17034795.9	89483.8	3271630.2	2153644.0	11313.1	52292.4	0.345	0.394	34936615.3	15546241.4	248484.5
1977	26253260	155780	6703951.5	3351975.8	21540881.5	156156.0	4537575.0	14227119.5	103136.5	1979387.6	1815219.3	13159.0	32222.2	0.399	0.401	41035771.9	17900683.9	291402.9
1978	27174884	162941	7075035.5	3537517.8	21859001.6	175463.8	3939700.6	14511121.1	116481.8	1736219.0	1934011.9	15524.5	30840.5	0.473	0.407	49350708.0	21748768.7	386323.4
1979	28144202	167633	7299041.0	3649520.5	23611637.8	176744.5	4586509.6	15540685.1	116329.5	1986874.4	1704960.3	12762.5	23914.4	0.458	0.409	49674877.3	21519139.4	259008.0
1980	28952150	166633	7280300.5	3640150.3	29350875.8	148538.5	8922200.4	20230744.4	102383.5	4238903.9	2118100.4	10719.3	46464.7	0.345	0.411	39666170.2	18845248.6	206571.9
1981	29738288	167767	7465054.5	3732900.5	32600144.5	144178.1	11196006.2	22761782.6	100666.7	5458038.8	2378556.4	10519.5	59600.6	0.339	0.423	40117739.5	19557347.2	213562.2
1982	30368384	163779	7330469.0	3664868.0	37363482.6	111210.1	21228226.7	27084683.7	80615.9	11154922.4	3199418.8	9522.9	155654.3	0.223	0.426	28046697.0	14737864.5	205650.2
1983	31093054	166077	7666492.5	3833246.3	38322824.4	124768.2	18509936.6	27802752.5	90517.8	9742389.8	3309697.1	10775.4	138059.5	0.281	0.447	35491140.8	18680157.3	264716.8
1984	32068518	174211	8221287.5	4110643.8	38812990.9	155317.2	13467272.0	26982269.6	107974.4	6508521.8	3137729.9	12556.2	88015.0	0.414	0.463	51758382.6	25014016.4	338265.4
1985	33127016	177608	8564087.0	4282043.5	39642213.2	164979.4	13162149.1	27058278.3	112608.7	6132129.8	3217456.6	13390.1	86703.5	0.446	0.478	57088463.5	26597014.4	376060.7
1986	34181992	179575	8860631.0	4430315.5	39451065.0	172940.7	12817439.7	26922690.4	118020.4	5969263.3	3198352.3	14020.5	84243.5	0.456	0.495	60114635.9	27996237.8	395107.6
1987	35208604	184787	9167170.0	4584043.4	39654328.6	183143.8	12268931.1	26973717.8	124578.3	5676846.4	2962046.4	13680.2	68455.6	0.473	0.499	63967425.6	29597790.4	356912.2
1988	36224176	189670	9550089.0	4775522.0	40518340.7	196483.9	11677031.4	26547978.1	128738.0	5012934.7	3047208.2	14776.7	66044.0	0.522	0.510	71742983.7	30799171.4	405770.4
1989	37242084	194925	9900830.0	4950415.0	42479887.2	204819.0	11994641.3	28056465.4	135275.7	5232225.7	2936908.6	14160.5	57332.6	0.555	0.517	77771208.0	33924858.9	371734.6
1990	38181148	196442	10087555.0	5043777.5	43303376.2	204263.6	12847286.1	29260609.7	138023.4	5865899.6	3280622.5	15474.8	73736.1	0.531	0.525	76678396.0	35010333.4	440090.5
1991	38943580	192286	10076635.0	5038317.5	45380186.2	185978.2	16494968.2	31063497.9	127305.2	7728934.9	3428198.2	14049.5	94134.9	0.449	0.541	67560540.8	31656382.5	385560.4
1992	39749632	193316	10431579.0	5215789.5	44757903.9	200737.3	14808694.8	31073720.1	139364.3	7137790.6	3667808.4	16450.0	99446.7	0.504	0.564	76343884.4	36797750.8	512682.0
1993	40619356	196699	10718744.0	5358836.1	44409297.8	211161.5	13943448.6	29944670.0	142383.7	6339594.1	3732441.0	17747.4	98493.7	0.526	0.572	80936501.4	36798971.3	571718.9

observation_date	K	L	Y	$\lambda^*$	Adj.K*	Adj.L*	Y*	Adj.K**	Adj.L**	Y**	Adj.K***	Adj.L***	Y***	$\nu$	$\eta$	$\phi$	$\tau$	$\psi$
1994	41576888	202067	11150584.0	5575849.5	43545865.3	231302.5	12082114.3	28824570.3	153107.4	5293888.3	3642707.5	19349.0	84546.9	0.590	0.582	91401827.2	40048542.1	639601.7
1995	42589128	207463	11449898.0	5724949.0	47485369.2	231974.4	13840068.4	31161329.6	152228.6	5960059.0	3671527.9	17936.1	82739.4	0.599	0.582	94899794.3	40867455.0	567334.6
1996	43715496	210161	11881846.0	5940328.9	47579853.9	245112.4	13224226.4	30808903.1	158715.1	5544680.7	3699761.2	19059.7	79959.8	0.641	0.602	103072664.8	43216517.4	623224.7
1997	44934860	216596	12410257.0	6205749.0	49956778.9	258084.7	13452706.7	32036118.3	165503.7	5532234.7	3881976.7	20054.9	81231.9	0.699	0.613	113725817.6	46768128.3	686714.2
1998	46303760	222346	12966412.0	6483206.0	49834075.8	275691.6	12645573.4	31807941.4	175967.6	5151774.4	3857891.9	21342.6	75785.4	0.745	0.627	123236001.5	50260632.8	738558.5
1999	47787892	226894	13582736.0	6791368.0	50330323.1	290849.5	12375547.3	31398479.7	181445.9	4816396.4	3897879.0	22525.1	74227.0	0.790	0.649	132855611.0	51705614.6	796851.1
2000	49329540	230609	14143361.0	7072387.7	53357681.7	296578.8	13600957.0	33073581.9	183833.4	5225622.4	4140330.1	23013.3	81892.8	0.814	0.669	140025538.3	53799199.1	843108.2
2001	50697112	227725	14284560.0	7142280.0	53871607.4	293800.0	14499983.3	33215811.1	181149.3	5512357.3	4527728.3	24692.9	102425.6	0.765	0.687	137565051.1	52297143.7	971737.5
2002	51889248	225643	14533353.0	7266676.5	56031808.0	290391.9	16100674.7	34802904.7	180370.4	6211633.0	4708682.0	24403.3	113703.4	0.746	0.709	138190014.7	53313645.0	975901.8
2003	53148096	224449	14949183.0	7473844.0	55763971.5	298390.7	15937170.5	34921081.1	186861.3	6249988.0	5035618.9	26945.4	129959.9	0.759	0.735	143459445.6	56259661.6	1169842.7
2004	54536764	227128	15517086.0	7758543.0	46099781.9	331100.2	10553156.0	28661272.5	205852.4	4079205.2	4136327.4	29708.1	84960.0	0.793	0.755	152022008.1	58762418.2	1223879.1
2005	56048848	230400	16062235.0	8031117.5	47009607.5	341644.0	10708738.7	28921685.1	210189.4	4053332.7	3980284.3	28926.9	76770.3	0.813	0.770	158931002.5	60156499.7	1139366.8
2006	57539832	234732	16520807.0	8260403.5	56220573.5	335138.0	14993363.2	34808383.5	207497.2	5747463.6	5115675.3	30495.2	124140.8	0.818	0.777	163836959.8	62804252.2	1356523.4
2007	58882184	236610	16830766.0	8415383.0	63149002.0	326456.2	18857609.7	39261583.3	202967.4	7289358.0	5335903.6	27584.6	134638.6	0.806	0.785	165986067.7	64161465.2	1185098.9
2008	59951996	234039	16807780.0	8403049.6	64690196.3	318176.2	20688306.1	41381200.6	203531.8	8465530.3	5844514.4	28746.0	168867.0	0.749	0.792	160163219.8	65537825.3	1307322.4
2009	60486876	221573	16381405.0	8190702.5	72995251.5	272796.2	30884478.7	49577901.1	185281.4	14247128.1	6153673.9	22997.4	219492.7	0.627	0.812	140096514.5	64627057.8	995650.9
2010	61035284	222053	16801388.0	8399853.9	69355559.3	295823.4	26116341.5	45494350.8	194047.8	11237371.2	6204180.5	26462.8	208986.7	0.687	0.827	152405917.4	65577403.5	1219573.9
2011	61657132	226014	17061950.0	8530121.9	66085908.5	311957.9	22939461.5	43875316.6	207113.0	10111277.2	5979742.3	28227.3	187815.1	0.706	0.826	157254016.4	69314571.5	1287505.1
2012	62424416	230328	17445766.0	8722010.7	64523795.6	327802.3	20891721.3	43270498.0	219828.5	9395463.2	5838377.5	29660.9	171048.3	0.739	0.828	165035817.5	74220210.7	1351209.7
2013	63225104	233870	17767130.0	8883565.0	58841396.3	348230.5	16889295.3	39492793.5	233723.1	7608189.1	5305654.8	31399.5	137316.8	0.756	0.830	170171500.6	76657843.3	1383562.8
2014	64118472	238609	18215924.0	9107962.0	65731520.1	347997.9	20220727.3	44496730.8	235576.0	9266284.5	5989263.8	31708.5	167879.0	0.789	0.833	178041461.6	81588699.0	1478157.4
2015	65053556	243112	18776158.0	9388079.0	69419828.3	354666.0	21636421.9	47331678.7	241817.6	10058244.5	6686944.0	34163.6	200758.4	0.831	0.841	187221409.8	87034664.0	1737176.0
2016	65971328	246571	19097498.0	9548749.0	68245379.2	365648.4	20548412.5	47495552.3	254474.0	9952625.4	6189061.0	33160.1	168997.9	0.838	0.842	190922067.4	92473120.0	1570215.1
2017	66940280	250050	19542980.0	9771490.0	68274132.0	376129.0	20115943.8	47118077.8	259578.2	9580830.8	6196084.1	34134.8	165677.2	0.857	0.848	196479273.0	93579236.5	1618225.2
2018	68005632	254165	20128580.0	10064290.0	68606423.1	387986.2	19828787.1	46911028.5	265293.4	9270784.9	5840164.9	33027.6	143686.8	0.884	0.856	203146545.3	94979481.5	1472075.6

#### 4.4.2 Principales tendencias de los datos

El análisis de los datos de las series temporales de la economía estadounidense desde 1950 hasta 2018 revela varias tendencias y patrones clave en las distintas variables económicas. El stock de capital ( $K$ ) muestra una tendencia al alza constante durante el periodo estudiado, lo que refleja una inversión y acumulación sostenidas de activos de capital en la economía estadounidense. Partiendo de aproximadamente 10,6 billones de USD en 1950, el stock de capital creció significativamente, alcanzando alrededor de 68 billones en 2018. Este aumento indica una continua expansión y modernización de la base de capital. El número total de horas trabajadas ( $L$ ) también muestra un aumento gradual, aunque con algunas fluctuaciones. De unos 100.000 millones de horas en 1950, las horas trabajadas aumentaron a 254.100 millones de horas en 2018. Esta tendencia refleja el crecimiento de la población activa y los cambios en la participación en el mercado laboral a lo largo de las décadas. Por último, la producción ( $Y$ ), medida como PIB real, muestra una sólida trayectoria de crecimiento. Partiendo de aproximadamente 2,47 billones de USD en 1950, se expandió a más de 20 billones de USD en 2018. Este crecimiento es indicativo del desarrollo económico general, las mejoras de la productividad y los avances tecnológicos de la economía estadounidense. En este sentido, el precio sombra ( $\lambda^*$ ) refleja las tendencias de la producción, indicando el valor marginal de relajar la restricción de producción. Comenzó en 1,23 billones de USD en 1950 y aumentó significativamente, alcanzando un máximo de más de 10 billones de USD en 2018. Este aumento sugiere un incremento de las ganancias potenciales derivadas de la relajación de las restricciones a la producción, lo que refleja la creciente complejidad y escala de la economía.

Los niveles óptimos ajustados de capital y trabajo para la Frontera de Posibilidades de Producción de Factores (FPPF), la Frontera de Posibilidades Sostenibles (SPF) y el Suelo Mínimo de Subsistencia (MSF) muestran patrones distintos. Por ejemplo, el nivel óptimo ajustado de capital ( $Adj. K^*$ ) aumentó de aproximadamente 7,28 billones en 1950 a 68,6 billones en 2018, alineándose con el crecimiento real del stock de capital. Del mismo modo, el nivel óptimo ajustado de mano de obra ( $Adj. L^*$ ) pasó de 59.500 millones de horas a 387.900 millones de horas en el mismo periodo. Además, los valores óptimos de producción de la FPPF ( $Y^*$ ), la SPF ( $Y^{**}$ ) y la MSF ( $Y^{**}$ ) siguen en general la tendencia general de la producción real. Por ejemplo,  $Y^*$  pasó de alrededor de 1,4 billones en 1950 a casi 20 billones en 2018. Esto indica que los ajustes del modelo reflejan condiciones económicas realistas a lo largo del tiempo.

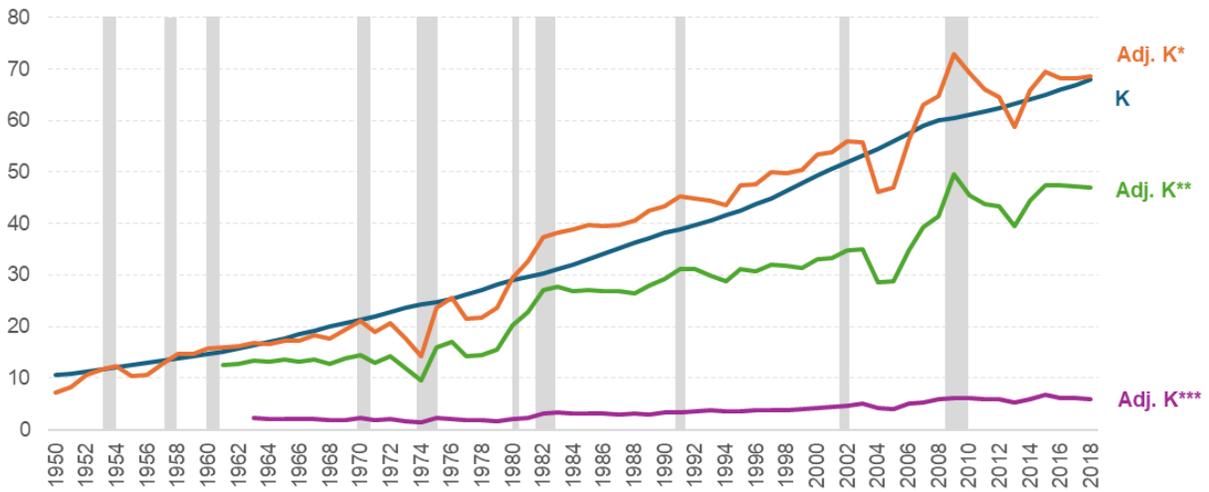


Gráfico 1: Capital Óptimo. Billones de dólares estadounidenses de 2017, anual, sin desestacionalizar. Recesiones en EE. UU. marcadas de acuerdo con los datos de FRED. Elaborado por el autor.

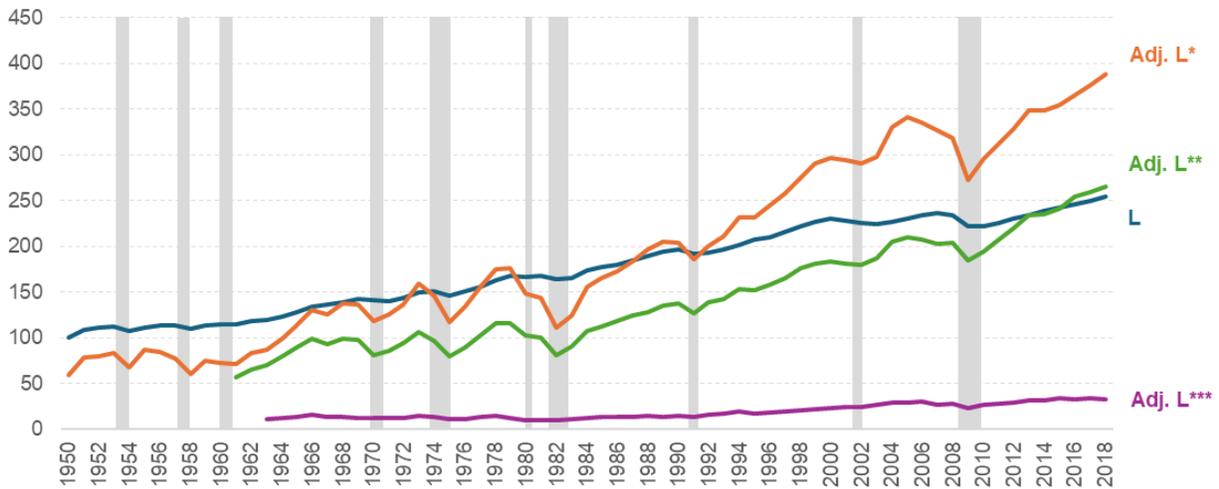


Gráfico 2: Trabajo Óptimo. Millones de horas, anual, sin desestacionalizar. Recesiones en EE. UU. marcadas de acuerdo con los datos de FRED. Elaborado por el autor.

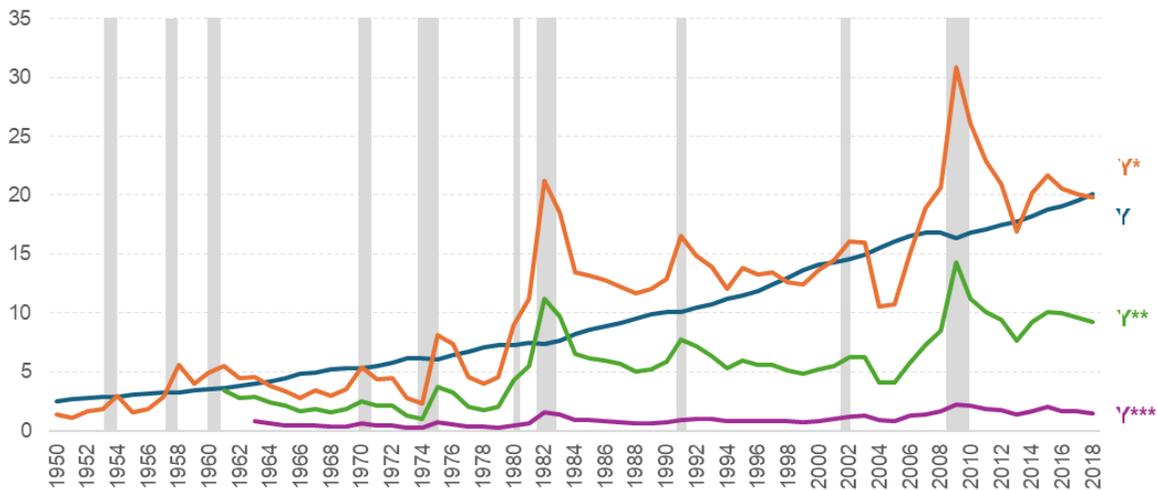


Gráfico 3: Producción Óptima. Billones de dólares estadounidenses de 2017, anual, sin desestacionalizar. Por motivos de legibilidad, la Producción Óptima  $Y^{***}$  es presentada en una escala de 0 a 3.5 Billones de dólares estadounidenses de 2017, anual, sin desestacionalizar. Recesiones en EE. UU. marcadas de acuerdo con los datos de FRED. Elaborado por el autor.

Los coeficientes de productividad del capital ( $\nu$ ) y del trabajo ( $\eta$ ) muestran aumentos graduales, lo que indica mejoras en la productividad. El coeficiente de productividad del capital ( $\nu$ ) pasó de aproximadamente 0,15 en 1950 a 0,88 en 2018, mientras que el coeficiente de productividad de la mano de obra ( $\eta$ ) aumentó de 0,18 a 0,86. Estas tendencias reflejan avances en tecnología, eficiencia y crecimiento económico. Aun así, mientras que el caso de la productividad laboral muestra en general una tendencia muy consistente, el coeficiente de productividad del capital sí muestra más inestabilidad, con picos y valles pronunciados.

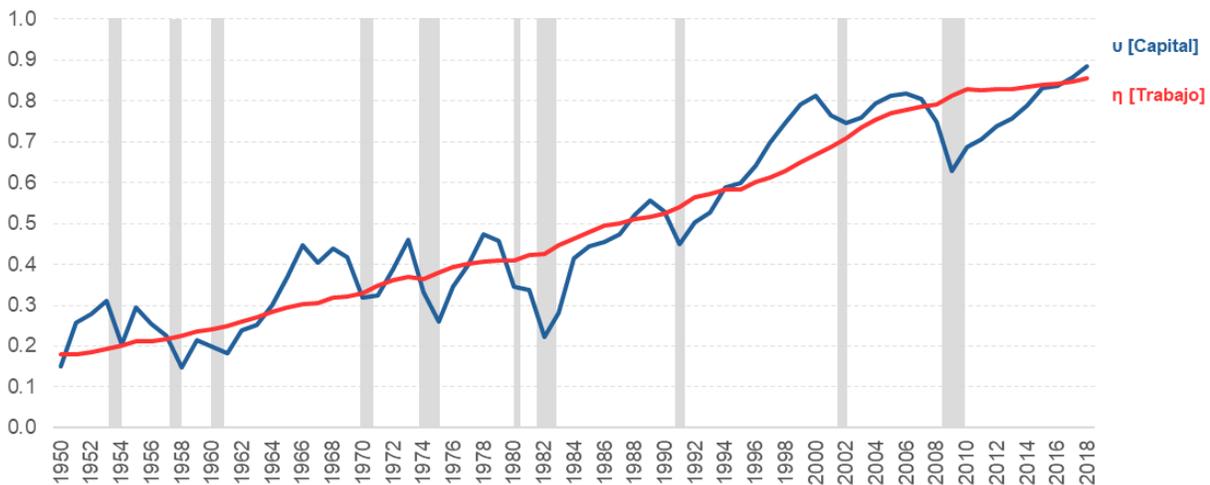


Gráfico 4: Coeficientes de Productividad de Capital y Trabajo. Recesiones en EE. UU. marcadas de acuerdo con los datos de FRED. Elaborado por el autor.

En cuanto a las fricciones, el parámetro de fricción global ( $\varphi$ ) mide la proporción de producción perdida por ineficiencias y fricciones dentro del sistema económico. A lo largo del tiempo,  $\varphi$  ha fluctuado, comenzando en torno a 6,86 millones de unidades de fricción en 1950 y alcanzando más

de 203 millones en 2018, lo que muestra una tendencia al aumento de las fricciones, posiblemente debido a que el propio sistema económico se ha vuelto más complejo con el paso del tiempo. Además, las variaciones internas presentes en esta tendencia también indican periodos de distintos niveles de eficiencia en la economía. Las fricciones ecológicas ( $\tau$ ) reflejan el impacto ecológico de las actividades económicas. Partiendo de 7,30 millones de unidades de fricción ecológica en 1961, las  $\tau$  aumentaron hasta 94,98 millones en 2018. Esta tendencia sugiere un aumento de las fricciones ecológicas a lo largo del tiempo, lo que pone de relieve el creciente impacto medioambiental de las actividades económicas. Por último, las fricciones sociales ( $\psi$ ) miden el impacto social de las actividades económicas. El  $\psi$  comenzó en aproximadamente 0,30 millones de unidades de fricción social en 1963 y aumentó a más de 1,47 millones en 2018. Esta tendencia indica un aumento de las ineficiencias sociales, reflejo de la creciente desigualdad y tensión social del sistema económico.

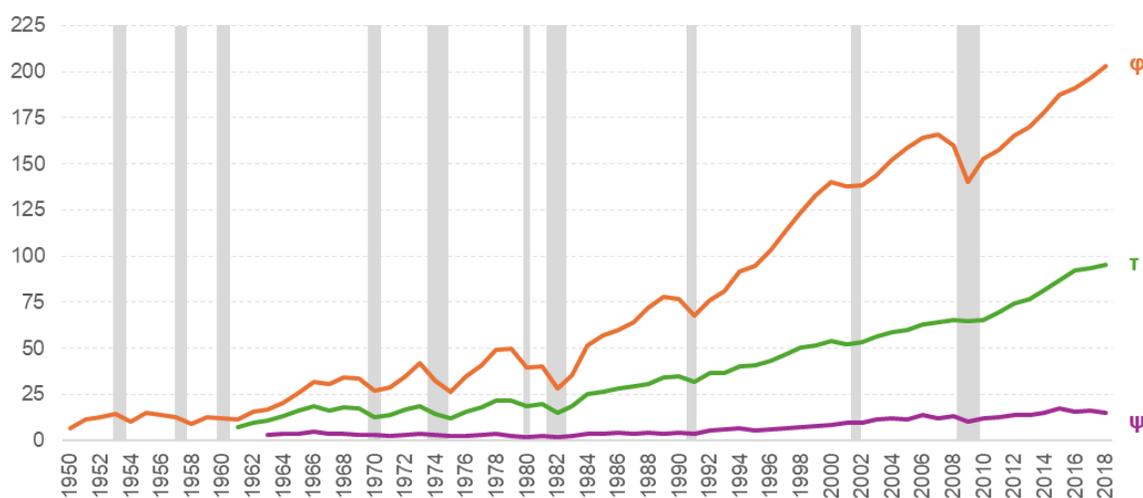


Gráfico 5: Fricciones. Millones de unidades de fricción, fricción ecológica y fricción social. Por motivos de legibilidad, las unidades de fricción social  $\psi$  se presentan en una escala de 0 a 22.5 millones de unidades. Recesiones en EE. UU. marcadas de acuerdo con los datos de FRED. Elaborado por el autor.

## Capítulo 5: Transformaciones Económicas de EE.UU. de 1950 a 2018

### 5.1. Introducción al Capítulo

Este capítulo presenta un análisis histórico detallado de la economía estadounidense desde 1950 hasta 2018 a través de la lente del modelo I3EP. Mediante la presentación de las tendencias y variaciones de los coeficientes de productividad, los parámetros de fricción y los niveles óptimos de capital, trabajo y producción, pretendemos comprender de forma exhaustiva la interacción dinámica entre las políticas económicas, los acontecimientos externos y la estructura económica nacional a lo largo de casi siete décadas.

El capítulo está estructurado cronológicamente, presentando una narrativa que demuestra cómo los coeficientes de productividad del capital y del trabajo, los parámetros de fricción de la producción, las fricciones ecológicas y las fricciones sociales, así como los niveles óptimos de capital y trabajo

y la producción óptima<sup>2</sup>, reflejan el impacto que los acontecimientos históricos críticos tuvieron en la evolución de la economía estadounidense. Así, introducimos primero el escenario de la posguerra con los años 50 y 60, explicamos la inestabilidad que marcó los años 70, exponemos la transformación económica de EE.UU. durante los años 80 y 90, y culminamos nuestro análisis con el efecto de los acontecimientos de 2000 a 2018. Finalmente, se presentará una última sección que compara los valores óptimos calculados del trabajo, el capital y la producción con los datos históricos para evaluar la alineación y la divergencia entre los modelos teóricos y los resultados del mundo real.

Los objetivos de este análisis histórico son dobles. En primer lugar, pretendemos dilucidar los patrones temporales y los cambios estructurales en la productividad y las ineficiencias dentro de la economía estadounidense, proporcionando una narración detallada de cómo han evolucionado los insumos y los productos económicos. Comprender estos patrones es crucial para reconocer los motores del crecimiento económico y las mejoras de la productividad. En segundo lugar, el análisis destaca la importancia de tener en cuenta las limitaciones ecológicas y sociales junto a las métricas económicas tradicionales. La integración de estas dimensiones en el modelo I3EP pretende presentar una visión holística del rendimiento económico más allá de la mera maximización de la producción, incluyendo la sostenibilidad y la equidad social.

## 5.2. Preparando el escenario: los años 50 y 60

Una serie de acontecimientos significativos con repercusiones económicas profundas y de gran alcance marcaron el periodo comprendido entre 1950 y 1969 en Estados Unidos. Esta época, a menudo denominada el boom de la posguerra, fue testigo de una dinámica interacción de fuerzas geopolíticas, sociales y económicas que configuraron el panorama del crecimiento, la política y la estructura económica estadounidenses (Gordon 2016, 152). Para comprender la evolución de la economía estadounidense en este periodo, debemos entender que la guerra, la innovación política, las recesiones y los hitos legislativos contribuyeron al desarrollo del complejo escenario económico.

El inicio de la Guerra de Corea el 25 de junio de 1950 marcó un importante conflicto geopolítico con sustanciales implicaciones económicas para Estados Unidos. El efecto inmediato de la guerra fue un aumento del gasto militar, que actuó como estímulo para la economía. El presupuesto de defensa se disparó, lo que provocó un aumento de la demanda de bienes y servicios militares, catalizando la producción industrial y el empleo (Stein 2011, 89). Este keynesianismo militar ayudó a mitigar las presiones recesivas que habían empezado a surgir a finales de la década de 1940. La guerra también aceleró los avances tecnológicos y el desarrollo de infraestructuras mientras Estados Unidos trataba de mantener su superioridad militar (Higgs 1987, 119). Sin embargo, el

---

<sup>2</sup> Por brevedad, a lo largo de este capítulo se denominará a los niveles óptimos de capital y trabajo ajustados (Adj.K\*, Adj.K\*\*, Adj.K\*\*\*, Adj.L\*, Adj.L\*\*, y Adj.L\*\*\*) como los “niveles óptimos” (K\*, K\*\*, K\*\*\*, L\*, L\*\*, y L\*\*\*), con el fin de hacer la lectura del mismo más accesible. En este sentido, para efectos prácticos, se deberá pensar en los niveles óptimos ajustados, como los niveles óptimos.

auge económico se vio atenuado por las presiones inflacionistas, ya que el aumento del gasto público impulsó la subida de precios en diversos sectores (Maddison 1991, 178).

Además, el periodo fue testigo de importantes ineficiencias en los procesos de producción, como indica  $\varphi$ , que pasó de 6,86 millones de unidades de fricción en 1950 a un pico de 14,6 millones en 1953. Estas ineficiencias evidencian los problemas de crecimiento asociados a la rápida expansión económica y al gasto militar. Como lo muestra  $L^*$ , los niveles óptimos de mano de obra reflejaron estas actividades económicas, comenzando en 59.509 millones de horas en 1950 y alcanzando un máximo de 83.563 millones de horas en 1953 debido a la intensificación de la demanda industrial impulsada por el esfuerzo bélico. En este periodo también se produjo un aumento significativo de los niveles óptimos de capital ( $K^*$ ), que pasaron de 7,3 billones de dólares en 1950 a 11,6 billones de dólares en 1953, lo que refleja el aumento de las inversiones de capital necesarias para la producción militar. En consecuencia, los niveles óptimos de producción ( $Y^*$ ) mostraron un aumento significativo durante la Guerra de Corea, comenzando en 1,39 billones de dólares en 1950 y alcanzando un máximo de 1,8 billones de dólares en 1953.

En el ámbito nacional, las Enmiendas a la Seguridad Social de 1950, promulgadas el 28 de agosto de 1950, representaron una importante ampliación de la red de seguridad social. Estas enmiendas aumentaron las prestaciones y extendieron la cobertura a un mayor número de trabajadores, lo que tuvo un doble efecto económico. Por un lado, proporcionó una mayor seguridad económica a una parte más significativa de la población, estabilizando la demanda de los consumidores. Por otra parte, el aumento de los impuestos sobre las nóminas necesario para financiar estas prestaciones mermó ligeramente la renta disponible. No obstante, el impacto global fue positivo, ya que las mejoras de la seguridad social ayudaron a reducir las tasas de pobreza entre los ancianos y contribuyeron al crecimiento constante de la clase media (Eisner 1994, 134). El crecimiento de la clase media durante las décadas de 1950 y 1960 fue crucial en la configuración de la economía, ya que el aumento de los ingresos, el mayor acceso a la educación y una creciente cultura del consumo alimentaron la demanda económica y apoyaron un crecimiento económico sostenido (Baumol 2002, 65).

Múltiples factores, entre ellos la ralentización del gasto militar posterior a la guerra de Corea y las políticas monetarias restrictivas destinadas a controlar la inflación, contribuyeron a la recesión de 1953, que alcanzó su punto álgido el 1 de julio de ese año (Friedman y Schwartz 1963, 220). La recesión provocó una contracción de la producción industrial y un aumento del desempleo, poniendo de manifiesto las vulnerabilidades de la estructura económica de posguerra. Sin embargo, el final de la guerra de Corea, el 27 de julio de 1953, y los subsiguientes dividendos de la paz ayudaron a estabilizar la economía (Johnson 1991, 305). A medida que creció la confianza en una economía en tiempos de paz, el aumento del gasto de los consumidores y de la inversión empresarial compensó parcialmente la reducción del gasto militar. Para el 1 de mayo de 1954, la economía había empezado a recuperarse, marcando el punto más bajo de la recesión (Moore 1961, 44). En este periodo también se redujeron las ineficiencias de la producción, como lo muestra la reducción de  $\varphi$  a 10,26 millones en 1954, reflejando una mejora de la gestión económica y de la eficiencia tras el conflicto.

En consecuencia,  $L^*$  disminuyó durante la recesión, bajando a 67.912 millones de horas en 1954, a medida que las actividades económicas se ajustaban a la reducción de los gastos militares. Durante el mismo periodo, los niveles óptimos de capital ( $K^*$ ) aumentaron, alcanzando los 12,25 billones de dólares en 1954, como reflejo de las inversiones en curso en las industrias en tiempos de paz. Estos ajustes se muestran en los niveles óptimos de producción ( $Y^*$ ), que mostraron un pico notable en 1954 con 2,94 billones de dólares, lo que indica recuperación y expansión durante este periodo.

El análisis de las métricas de productividad de este lapso proporciona una visión más profunda de la dinámica económica en juego. En 1950, la productividad del capital ( $v$ ) fue de 0,152, mientras que la del trabajo ( $\eta$ ) marcó 0,181. Estas medidas reflejan las condiciones iniciales de la posguerra, en las que el capital y el trabajo se ajustaron a las actividades de los tiempos de paz. Al aumentar el gasto militar durante la Guerra de Corea,  $v$  se disparó hasta 0,311 en 1953, ilustrando las importantes inversiones de capital y los avances tecnológicos impulsados por las necesidades de defensa. Al mismo tiempo,  $\eta$  mostró un aumento moderado hasta 0,192, lo que indica una mejora de la productividad laboral debida a los “spillovers” tecnológicos de la investigación y el desarrollo militares.

La política medioambiental empezó a cobrar mayor protagonismo con la promulgación de la Ley de Control de la Contaminación Atmosférica del 14 de julio de 1955. Aunque de alcance limitado en comparación con las normativas medioambientales posteriores, esta legislación señaló un creciente reconocimiento de los costes económicos asociados a la degradación del medio ambiente. Al abordar la contaminación atmosférica, la Ley pretendió mejorar la salud pública y reducir la carga económica de las enfermedades relacionadas con la contaminación, contribuyendo así a la sostenibilidad económica a largo plazo. Este cambio hacia la consideración de los impactos medioambientales en la planificación económica fue precursor de políticas medioambientales más exhaustivas en años posteriores, reflejando el cambio social más amplio hacia la valoración de la salud medioambiental (Kraft 2007, 157).

La crisis de Suez, que comenzó el 26 de julio de 1956 y terminó el 19 de abril de 1957, fue un acontecimiento geopolítico con importantes repercusiones económicas. La crisis provocó interrupciones en el suministro de petróleo, causando un repunte de los precios de la energía y poniendo en evidencia la vulnerabilidad de las economías occidentales frente a la política de Medio Oriente (Yergin 2011, 520). La respuesta estadounidense, que incluyó esfuerzos para estabilizar los mercados mundiales del petróleo y apoyar a sus aliados europeos, subrayó la interconexión de los sistemas económicos y políticos mundiales. La inestabilidad económica de la crisis sirvió de precursora de las cuestiones energéticas que se harían más apremiantes en las décadas siguientes. La crisis también demostró la importancia estratégica de Medio Oriente, lo que condujo a una presencia estadounidense más pronunciada en la región, con implicaciones económicas y geopolíticas a largo plazo (Cleveland y Bunton 2016, 342).

La recesión de 1958, que alcanzó su punto álgido el 1 de agosto de 1957 y su mínimo el 1 de abril de 1958, fue otra recesión económica significativa. Se caracterizó por un fuerte descenso de la producción industrial y un aumento del desempleo debido a los elevados tipos de interés y a la reducción de la confianza de los consumidores. La recesión impulsó a la administración Eisenhower a adoptar políticas fiscales más proactivas, incluido el aumento del gasto público en

proyectos de infraestructuras (Samuelson y Nordhaus 2001, 276). Estas medidas ayudaron a estimular la recuperación económica y sentaron las bases para la expansión económica sostenida de la década de 1960. La respuesta del gobierno a la recesión expuso la evolución de la comprensión de la política fiscal como herramienta de estabilización económica, reflejando un cambio hacia una intervención gubernamental más activa (Olson 1988, 197). Durante este periodo, las ineficiencias reflejadas por  $\varphi$  disminuyeron significativamente hasta 8,8 millones en 1958, indicando una mejora de la gestión económica y de los esfuerzos de recuperación. En este periodo,  $L^*$  alcanzó su punto más bajo de la década con 61.167 millones de horas en 1958, lo que refleja la importante contracción económica y los posteriores esfuerzos de recuperación. Los niveles de  $K^*$  también mostraron un notable aumento, alcanzando los 14,6 billones de dólares en 1958, lo que subraya las importantes inversiones de capital necesarias para la recuperación económica. Los ajustes económicos y las medidas fiscales proactivas durante este periodo se evidencian en los niveles óptimos de producción ( $Y^*$ ), que se dispararon hasta los 5,5 billones de dólares en 1958, reflejando una recuperación robusta.

Las métricas de productividad de finales de la década de 1950 iluminan aún más el panorama económico. En 1958,  $\nu$  bajó a 0,148, indicando un descenso de la productividad del capital, mientras que  $\eta$  subió a 0,225, mostrando un aumento de la productividad laboral en medio de los esfuerzos de recuperación de la recesión. En 1959,  $\nu$  mejoró hasta 0,216, y  $\eta$  siguió subiendo hasta 0,237, reflejando el impacto positivo de las políticas fiscales aplicadas para estimular la economía. Con el repunte de las actividades económicas,  $L^*$  aumentó a 75.625 millones de horas en 1959. Los niveles óptimos de capital,  $K^*$ , reflejaron esta recuperación, manteniéndose elevados en 14,65 billones de dólares en 1959. El resurgimiento económico también lo indican los niveles óptimos de producción ( $Y^*$ ), que alcanzaron los 3,98 billones de dólares en 1959.

Posteriormente, la recesión de 1960-1961, que alcanzó su punto álgido el 1 de abril de 1960 y terminó el 1 de febrero de 1961, marcó una contracción económica relativamente leve pero prolongada. La administración Kennedy respondió con múltiples políticas económicas destinadas a estimular el crecimiento. Las Enmiendas a la Seguridad Social de 1961, promulgadas el 30 de junio de 1961, ampliaron las prestaciones y la cobertura, impulsando el gasto de los consumidores (Blanchard y Johnson 2013, 541). El Crédito Fiscal a la Inversión de 1962, introducido el 16 de octubre de 1962, incentivó la inversión empresarial al permitir a las empresas deducir de sus impuestos una parte de sus costes de inversión. Estas medidas fueron decisivas para fomentar la recuperación económica y promover el crecimiento a largo plazo (Mankiw 2012, 423). Las respuestas políticas durante este periodo ilustraron un enfoque más sofisticado de la gestión económica, integrando herramientas de política fiscal y social para abordar los retos económicos. A pesar de estos esfuerzos, las ineficiencias en los procesos de producción, medidas por  $\varphi$ , siguieron siendo elevadas, aumentando de 11,6 millones en 1961 a 20,5 millones en 1964. En este periodo también registramos las primeras mediciones de los impactos ecológicos y sociales, con un  $\tau$  de 7,3 millones en 1961. Adicionalmente,  $L^*$  experimentó fluctuaciones significativas, con valores de 71.487 millones de horas en 1961, que ascendieron a 83.566 millones de horas en 1962, lo que indica la capacidad de respuesta de la economía a las políticas aplicadas. Además,  $L^{**}$  se registró en 56.636,4 millones de horas en 1961 y 65.911,8 millones de horas en 1962, mostrando los primeros pasos hacia el equilibrio de las actividades económicas con la sostenibilidad ecológica. Los niveles óptimos de capital ( $K^*$ ) también reflejaron estas tendencias, con valores de 15,7

billones de dólares en 1961 y 16,2 billones de dólares en 1962. Además,  $K^{**}$  indicó un punto de equilibrio en el que el capital empleado fue ecológicamente sostenible, con valores de 12,7 billones de dólares en 1961 y 12,8 billones de dólares en 1962. Estos cambios se reflejan en los niveles óptimos de producción,  $Y^*$ , con valores de 5,47 billones de dólares en 1961 y 4,48 billones de dólares en 1962. Cabe destacar que en 1961 también se realizaron los cálculos iniciales de la producción óptima dentro de la Frontera de Posibilidades Sostenibles ( $Y^{**}$ ), registrada en 3,5 billones de dólares, lo que muestra una creciente concientización sobre las prácticas económicas sostenibles.

Los datos sobre la productividad de principios de los años sesenta indican mejoras continuas. En 1961,  $v$  fue de 0,182, y  $\eta$  subió a 0,250. En 1962,  $v$  aumentó a 0,237, y  $\eta$  alcanzó 0,260, subrayando la eficacia de las políticas de la administración Kennedy para mejorar la productividad del capital y del trabajo. Esta tendencia continuó en 1963 y 1964, con  $v$  en 0,251 y 0,300, y  $\eta$  en 0,270 y 0,284, respectivamente, reflejando el crecimiento económico sostenido y el éxito de las políticas. El aumento de  $\varphi$  a 25,8 millones en 1965 muestra los continuos desafíos para mejorar la eficacia de la producción. Correspondientemente,  $L^*$  aumentó a 87.665 millones de horas en 1963 y a 99.303 millones de horas en 1964, demostrando la continua expansión económica y la creciente demanda de mano de obra. Además,  $L^{**}$  alcanzó 69.751 millones de horas en 1963 y 79.414 millones de horas en 1964, mientras que  $L^{***}$  se registró en 11.704 millones de horas en 1963 y 12.643 millones de horas en 1964, lo que refleja los esfuerzos por equilibrar las necesidades laborales con la sostenibilidad ecológica y social. Los niveles óptimos de capital siguieron una tendencia similar, con valores de  $K^*$  marcando 16,8 billones de dólares en 1963 y 16,6 billones de dólares en 1964. Además,  $K^{**}$  indicó 13,4 billones de dólares en 1963 y 13,2 billones de dólares en 1964, mientras que  $K^{***}$  se registró en 2,2 billones de dólares en 1963 y 2,1 billones de dólares en 1964, reflejando el capital necesario para la producción de subsistencia dadas las disparidades sociales. Esta evolución se muestra en los niveles óptimos de producción,  $Y^*$ , que fueron de 4,6 billones de dólares en 1963 y de 3,7 billones de dólares en 1964. La Frontera de Posibilidades Sostenibles ( $Y^{**}$ ) y el suelo mínimo de subsistencia ( $Y^{***}$ ) también registraron valores notables durante este periodo, reflejando el enfoque matizado de la sostenibilidad económica y la equidad social, con  $Y^{**}$  en 2,8 billones de dólares en 1963 y 2,4 billones de dólares en 1964, y  $Y^{***}$  en 81.400 millones de dólares en 1963 y 61.500 millones de dólares en 1964.

Las preocupaciones medioambientales siguieron dando forma a la política económica con la Ley de Aire Limpio, promulgada el 17 de diciembre de 1963. Esta legislación histórica estableció normas federales exhaustivas para la calidad del aire, con el objetivo de reducir la contaminación y proteger la salud pública. Las implicaciones económicas también fueron significativas, ya que las empresas se enfrentaron a nuevos requisitos normativos y costes de cumplimiento. Sin embargo, los beneficios a largo plazo de la mejora de la calidad del aire, incluida la reducción de los costes sanitarios y el aumento de la productividad de los trabajadores, superaron los retos económicos a corto plazo. La Ley de Aire Limpio representó un paso importante hacia la integración de la sostenibilidad medioambiental en la planificación económica, reflejando un cambio social más amplio hacia la valoración de la salud medioambiental (Hays 1987, 201). No obstante, en este periodo también se produjo un aumento sustancial de las fricciones ecológicas, con un  $\tau$  que ascendió a 16,3 millones en 1965, mostrando un aumento de las presiones ecológicas debidas a las actividades industriales.

La política fiscal cobró protagonismo con la Ley de Ingresos de 1964, promulgada el 26 de febrero de ese año. Esta ley redujo significativamente los tipos del impuesto sobre la renta de las personas físicas y de las empresas, lo que supuso un importante estímulo económico. Los recortes fiscales aumentaron la renta disponible de los consumidores e impulsaron la inversión empresarial, provocando un repunte de la actividad económica. La expansión económica resultante mostró altas tasas de crecimiento, bajo desempleo y aumento de los ingresos, lo que contribuyó a la prosperidad general de la década de 1960 (Stein 1988, 165). El éxito de la Ley de Ingresos de 1964 demostró el poderoso impacto de la política fiscal en los resultados económicos, reforzando los principios keynesianos que habían ganado importancia en la posguerra (Samuelson y Nordhaus 2001, 287). Los niveles óptimos de mano de obra siguieron aumentando, alcanzando  $L^*$  113,17 millones de horas en 1965 y 130 millones de horas en 1966, lo que refleja el robusto crecimiento económico impulsado por estas políticas fiscales. En consecuencia, los niveles óptimos de capital ( $K^*$ ) también mostraron un crecimiento significativo, alcanzando los 17,2 billones de dólares en 1965 y los 17,3 billones de dólares en 1966. Los impactos de estas políticas fiscales son evidentes en los niveles óptimos de producción ( $Y^*$ ), que fueron de 3,3 billones de dólares en 1965 y de 2,8 billones de dólares en 1966. Las medidas de sostenibilidad y equidad social también vieron un reflejo significativo durante este periodo, con un  $Y^{**}$  de 2,1 billones de dólares en 1965 y 1,6 billones de dólares en 1966, y un  $Y^{***}$  de 47.173 millones de dólares en 1965 y 42.481 millones de dólares en 1966.

Importantes políticas alteraron aún más el panorama de la asistencia social a mediados de la década de 1960. La Ley de Cupones para Alimentos de 1964, promulgada el 31 de agosto de 1964, pretendía combatir el hambre y la malnutrición proporcionando ayuda alimentaria a los hogares con bajos ingresos. Este programa abordó las necesidades inmediatas de seguridad alimentaria y tuvo beneficios económicos más amplios al aumentar el gasto de los consumidores en las comunidades de bajos ingresos (Leuchtenburg 1995, 213). La Ley de Educación Primaria y Secundaria (ESEA), promulgada el 11 de abril de 1965, proporcionó fondos federales para mejorar las oportunidades educativas de los niños desfavorecidos, abordando así las antiguas desigualdades del sistema educativo. La ESEA ayudó a crear una mano de obra más calificada, esencial para sostener el crecimiento económico en una economía cada vez más basada en el conocimiento (Hacker 1997, 112).

El programa Head Start, lanzado el 18 de mayo de 1965, se centró en la educación de la primera infancia para familias con bajos ingresos, con el objetivo de romper el ciclo de la pobreza mediante la mejora de los resultados educativos. Al proporcionar servicios integrales de educación, salud y nutrición, Head Start pretendió potenciar el desarrollo de los niños procedentes de entornos desfavorecidos, mejorando así sus perspectivas económicas a largo plazo (Zigler y Muenchow 1992, 97). La Ley de Estadounidenses Mayores, promulgada el 14 de julio de 1965, estableció diversos servicios para los adultos mayores, como programas de nutrición, centros de mayores y apoyo a los cuidadores. Esta legislación reflejó el creciente reconocimiento de los retos económicos y sociales a los que se enfrenta una población que envejece, destacando la necesidad de políticas que apoyen el bienestar económico de los estadounidenses mayores (Marmor 2000, 34).

La Ley de Medicare y Medicaid, parte de las Enmiendas a la Seguridad Social de 1965, promulgada el 30 de julio de 1965, representó una monumental expansión de la red de seguridad social,

proporcionando seguro médico a los adultos mayores y a las personas con bajos ingresos. Estos programas redujeron significativamente las tasas de pobreza entre los ancianos y mejoraron el acceso a la asistencia sanitaria, contribuyendo a la estabilidad económica general y al bienestar social. La introducción de Medicare y Medicaid también tuvo importantes implicaciones económicas para la industria sanitaria, impulsando el crecimiento de los servicios sanitarios y del empleo. Estos programas subrayaron el compromiso del gobierno federal de abordar las desigualdades sociales y garantizar la seguridad económica de todos los ciudadanos (Quadagno 2005, 78) (Berkowitz 1991, 145). En particular, estos programas sociales se reflejaron en los valores de  $\psi$ , que alcanzaron un máximo de 484.070 unidades en 1966, indicando una considerable fricción social debido a la rápida expansión de los programas de bienestar social. Cabe notar que posteriormente, una vez incorporadas estas políticas, las fricciones sociales cayeron a niveles comparables a aquellos medidos antes de la incorporación de Medicare y Medicaid ( $\psi$  midiendo 363.996 unidades en 1967, por ejemplo), y posteriormente se redujeron aún más hasta que  $\psi$  marcó 304.324 unidades en 1969. Los niveles óptimos de mano de obra también reflejaron estos cambios sociales, con un  $L^{**}$  que alcanzó los 89.878 millones de horas en 1965 y los 99.534 millones de horas en 1966, mientras que  $L^{***}$  aumentó hasta los 13.421 millones de horas en 1965 y los 15.982 millones de horas en 1966, demostrando cómo la mano de obra necesaria para satisfacer las necesidades de bienestar social y subsistencia siguió en aumento. Del mismo modo, los niveles de  $K^*$  aumentaron, alcanzando los 17,3 billones de dólares en 1966. Finalmente, estas medidas legislativas también se reflejan en los niveles óptimos de producción ( $Y^*$ ), que fueron de 2,8 billones de dólares en 1966. Los niveles óptimos de producción dentro de la Frontera de Posibilidades Sostenibles ( $Y^{**}$ ) y el Suelo Mínimo de Subsistencia ( $Y^{***}$ ) también pusieron en evidencia el impacto económico de estas políticas, con valores de 1,6 billones de dólares y 42.481 millones de dólares, respectivamente, en 1966.

Los datos de productividad económica de mediados de los años 60 muestran un crecimiento continuo, con un  $\nu$  que aumentó a 0,448 en 1966 y a 0,440 en 1968, mientras que  $\eta$  aumentó a 0,301 y 0,319, respectivamente. Estas tendencias muestran la eficacia de las políticas sociales y económicas globales para mejorar la productividad en general. Sin embargo, el periodo también fue testigo del aumento de las fricciones ecológicas y sociales, con un  $\tau$  que alcanzó los 18,7 millones en 1966 y un  $\psi$  que, como vimos, reflejó las tensiones sociales del rápido crecimiento y los cambios políticos. Los niveles óptimos de mano de obra durante este periodo siguieron aumentando, con  $L^*$  alcanzando los 126.233 millones de horas en 1967 y los 137.486 millones de horas en 1968. Al mismo tiempo,  $L^{**}$  mostró un ligero descenso hasta los 92.807 millones de horas en 1967, pero volvió a subir hasta los 99.126 millones de horas en 1968, mientras que  $L^{***}$  se mantuvo relativamente estable en 13.822 millones de horas en 1967 y 13.742 millones de horas en 1968. Los niveles óptimos de capital ( $K^*$ ) también reflejaron este crecimiento, alcanzando los 18,4 billones de dólares en 1967 y los 17,6 billones de dólares en 1968, mientras que  $K^{**}$  indicó unos niveles ecológicamente sostenibles de 13,5 billones de dólares en 1967 y 12,7 billones de dólares en 1968. Estas tendencias se reflejan en los niveles óptimos de producción ( $Y^*$ ), que fueron de 3,4 billones de dólares en 1967 y de 2,9 billones de dólares en 1968. Las medidas de sostenibilidad y equidad social también vieron un reflejo significativo durante este periodo, con un  $Y^{**}$  de 1,8 billones de dólares en 1967 y 1,5 billones de dólares en 1968, y un  $Y^{***}$  de 41.075 millones de dólares en 1967 y 29.186 millones de dólares en 1968.

El periodo culminó en la recesión de 1969-1970, que alcanzó su punto álgido el 1 de diciembre de 1969. Una ralentización del crecimiento económico, el aumento de la inflación y el incremento del desempleo caracterizaron esta recesión (Tobin 1974, 91). Los retos económicos de este periodo pusieron de manifiesto las limitaciones de las políticas fiscales y monetarias existentes y subrayaron la necesidad de un enfoque más matizado de la gestión económica. La recesión impulsó a los responsables políticos a reevaluar sus estrategias, lo que condujo al desarrollo de herramientas y marcos económicos más sofisticados en las décadas siguientes (Friedman y Schwartz 1963, 255). En este periodo también se produjo un pico en  $\varphi$  de 34 millones en 1968 y una ligera reducción a 33,8 millones en 1969, lo que refleja los continuos retos para mantener la eficiencia de la producción. Los niveles óptimos de mano de obra ( $L^*$ ) alcanzaron un máximo en 1968 con 137.486 millones de horas antes de descender ligeramente a 136.600 millones de horas en 1969, lo que indica la tensión económica que condujo a la recesión. Del mismo modo,  $L^{**}$  siguió una tendencia similar, alcanzando un máximo de 99.126 millones de horas en 1968 y disminuyendo ligeramente a 98.171 millones de horas en 1969, mientras que  $L^{***}$  disminuyó a 12.962 millones de horas en 1969, reflejando los ajustes sociales y económicos durante la recesión. Los niveles óptimos de capital ( $K^*$ ) alcanzaron los 19,3 billones de dólares en 1969, mientras que los niveles ecológicamente sostenibles ( $K^{**}$ ) se registraron en 13,9 billones de dólares en el mismo año, y el capital necesario para la producción de subsistencia ( $K^{***}$ ) fue de 1,8 billones de dólares. Los niveles óptimos de producción ( $Y^*$ ) para 1969 alcanzaron los 3,5 billones de dólares, lo que indica la culminación de las actividades económicas de los años sesenta. Los valores de la Frontera de Posibilidades Sostenibles ( $Y^{**}$ ) y del Suelo Mínimo de Subsistencia ( $Y^{***}$ ) en 1969 fueron de 1,8 billones de dólares y 31.936 millones de dólares, respectivamente, lo que pone de enfatiza el complejo impacto de las políticas económicas del periodo.

Una serie de acontecimientos transformadores que moldearon la trayectoria de la economía estadounidense marcaron el periodo comprendido entre 1950 y 1969. La Guerra de Corea y los compromisos militares posteriores subrayaron el impacto económico de los conflictos geopolíticos. Al mismo tiempo, las innovaciones de la política nacional en materia de bienestar social, protección del medio ambiente y gestión fiscal reflejaron un compromiso creciente para hacer frente a las desigualdades sociales y económicas. Las recesiones periódicas evidenciaron la naturaleza cíclica de la economía y la necesidad de medidas políticas sensibles para estabilizar el crecimiento. Los avances tecnológicos, los cambios demográficos y los movimientos culturales enriquecieron aún más la narrativa económica, creando un panorama económico dinámico y en evolución. En general, este periodo sentó las bases de las tendencias económicas y los marcos políticos que caracterizaron la segunda mitad del siglo XX.

### 5.3. La inestabilidad de los años 70

La década de 1970 en Estados Unidos estuvo marcada por importantes turbulencias económicas impulsadas por acontecimientos medioambientales, fiscales, sociales y geopolíticos. Estos acontecimientos configuraron colectivamente el panorama económico, provocando una serie de retos y respuestas que tuvieron profundas implicaciones para la estructura y el rendimiento de la economía estadounidense. Sin duda, la década de 1970 es una historia sobre cómo navegar a través de la estanflación, las crisis energéticas y los cambios políticos, cada uno de los cuales contribuyó a la evolución del entorno económico.

La década comenzó con la promulgación de la Ley Nacional de Política Medioambiental (NEPA) el 1 de enero de 1970. La NEPA estableció un marco global para la protección del medio ambiente, exigiendo a los organismos federales que evaluaran el impacto medioambiental de sus acciones. Esta legislación inició una década de compromiso con la sostenibilidad medioambiental, reconociendo los costes económicos asociados a la degradación del medio ambiente (Liroff 1976, 24). La creación de la Agencia de Protección Medioambiental (EPA) el 2 de diciembre de 1970 institucionalizó aún más la protección medioambiental, proporcionando una supervisión reguladora para garantizar el cumplimiento de las leyes medioambientales. Estas medidas reflejaban una creciente concienciación sobre los beneficios económicos a largo plazo de preservar los recursos naturales y reducir los costes sanitarios relacionados con la contaminación (Andrews 2006, 53). Al integrar las consideraciones medioambientales en la planificación económica, la NEPA y la EPA sentaron las bases de un enfoque económico más sostenible que influiría en las decisiones políticas futuras.

La Ley de Estabilización Económica de 1970, que entró en vigor el 15 de agosto de ese año, también configuró el panorama económico de principios de la década de 1970. Esta ley concedió al presidente amplios poderes para controlar los salarios y los precios con el fin de frenar las presiones inflacionistas (Stein 2011, 167). La economía estadounidense estaba saliendo de la recesión de 1969-1970, que alcanzó su punto álgido en noviembre de 1970. El descenso de la producción industrial y el aumento del desempleo caracterizaron la recesión, lo que hizo necesarias medidas para estabilizar la economía (McMahon 2003, 81). La Ley de Estabilización Económica representó un intento de gestionar la economía mediante la intervención directa, reflejando los principios económicos keynesianos que habían guiado la política en décadas anteriores. Sin embargo, la eficacia de estas intervenciones fue desigual, ya que a menudo provocaron distorsiones en las señales del mercado e ineficiencias que requirieron nuevos ajustes (Stein 2011, 168). Por ejemplo, el  $Y^*$  calculado para este periodo fue de 5,3 billones, mientras que el  $Y^{**}$  fue de 2,5 billones, y el  $Y^{***}$  de 58.732 millones, lo que indica una importante capacidad de producción económica que se vio limitada por estas fricciones emergentes.

La política medioambiental siguió siendo un punto central con las Enmiendas a la Ley de Aire Limpio, el 31 de diciembre de 1970, y la Ley de Agua Limpia, el 18 de octubre de 1972. Estas legislaciones históricas establecieron normas estrictas de calidad del aire y del agua, respondiendo a la creciente preocupación pública por la contaminación medioambiental (Andrews 2006, 84). Las implicaciones económicas fueron significativas, ya que las industrias se enfrentaron a nuevos costes de cumplimiento y requisitos normativos. Sin embargo, los beneficios a largo plazo de la mejora de la salud pública y la sostenibilidad medioambiental superaron los retos económicos a corto plazo, contribuyendo a una economía más resistente y sostenible. Estas políticas también estimularon la innovación en las tecnologías y prácticas de control de la contaminación, fomentando nuevas industrias y oportunidades de empleo en el sector medioambiental (Portney 2002, 107).

El programa de Seguridad de Ingreso Suplementario (SSI), promulgado el 30 de octubre de 1972, representó una importante expansión de la red de seguridad social. Este programa proporcionaba ayuda financiera a personas mayores, ciegas y discapacitadas con ingresos y recursos limitados, reflejando un compromiso con la equidad social y la seguridad económica (Berkowitz 2000, 212).

El programa SSI tuvo un doble efecto económico: al aumentar el gasto de los hogares con ingresos bajos, estimuló la economía y abordó la pobreza y la desigualdad (Berkowitz 2000, 213). Esta política subrayó la importancia de los programas de bienestar social para mantener la estabilidad económica y promover la cohesión social. Al aliviar la pobreza, el programa SSI también mejoró los resultados sanitarios y redujo la carga económica de los costes sanitarios. La producción económica, y los efectos de los enfoques en sostenibilidad y subsistencia durante estos años también se reflejaron en los óptimos, calculándose  $Y^*$  en 4,3 billones en 1971 y 4,4 billones en 1972, mientras que  $Y^{**}$  fue de aproximadamente 2 y 2,1 billones de dólares respectivamente. Asimismo,  $Y^{***}$  se redujo a 40.487 millones en 1971 y 40.808 millones en 1972, lo que indica una mejora en la gestión de la subsistencia en medio de los cambios normativos.

El embargo de petróleo de la OPEP, que comenzó el 8 de octubre de 1973, marcó un momento crucial en la década de 1970, desencadenando la recesión de 1973-1975. El embargo provocó un aumento drástico de los precios del petróleo, causando una perturbación económica generalizada (Yergin 2011, 569). La economía estadounidense, muy dependiente del petróleo importado, tuvo que hacer frente a unos costes energéticos desorbitados, lo que contribuyó a la inflación y a la reducción del gasto de los consumidores (Blinder 1982, 19). La recesión alcanzó su punto álgido en noviembre de 1973 y se caracterizó por el descenso de la producción industrial, el aumento del desempleo y la estanflación, una combinación de estancamiento del crecimiento económico y elevada inflación (Yergin 2011, 570). La inestabilidad económica del embargo petrolero llamó la atención sobre la susceptibilidad de la economía estadounidense a los choques externos y enfatizó la necesidad de independencia energética. El embargo también provocó una reevaluación de las políticas energéticas y de las inversiones en fuentes de energía alternativas, sentando las bases para futuras transiciones energéticas. Durante este turbulento periodo, el  $Y^*$  calculado para 1973 fue de 2,7 billones, mientras que el  $Y^{**}$  fue de 1,2 billones, y el  $Y^{***}$  de 22.656 millones, lo que ilustra la profunda tensión económica inducida por el embargo, dado que todas las medidas de producción óptima se contrajeron.

Adicionalmente, las métricas de productividad,  $\eta$  (productividad del trabajo) y  $\nu$  (productividad del capital), también proporcionan una visión de cómo estas condiciones económicas más amplias afectaron a la eficiencia del trabajo y del capital. Por ejemplo, en 1973,  $\nu$  fue relativamente alto, con una medida de 0,460, lo que indica un uso eficiente del capital durante este periodo de agitación económica. Por el contrario,  $\eta$  fue de 0,369, mostrando una productividad laboral más modesta. El posterior embargo petrolero afectó bruscamente a estas métricas, con un  $\nu$  que descendió a 0,333 en 1974, exponiendo la tensión inmediata sobre la productividad del capital debido al aumento de los costes energéticos y las perturbaciones económicas. Curiosamente,  $\eta$  se mantuvo relativamente estable en 0,365, reflejando la resistencia de la productividad del trabajo a pesar de los retos económicos más generales. En consecuencia, la producción económica en 1974 experimentó un nuevo descenso, calculándose  $Y^*$  en 2,3 billones,  $Y^{**}$  en 1.03 billones, y  $Y^{***}$  en 20.674 millones de dólares.

Simultáneamente, las fricciones medioambientales, ecológicas y sociales de este periodo proporcionan un contexto adicional para los retos económicos. Las ineficiencias en el proceso de producción, representadas por  $\varphi$ , aumentaron significativamente de 27,2 millones de unidades de fricción en 1970 a 41,8 unidades en 1973, ilustrando las crecientes fricciones económicas en medio

de las regulaciones medioambientales y la crisis energética. El impacto ecológico de las actividades económicas, denotado por  $\tau$ , también se disparó de 12,8 millones de unidades en 1970 a 18,7 millones en 1973, reflejando el creciente estrés ecológico de las actividades industriales y el consumo energético. Adicionalmente, indicada por  $\psi$ , la fricción social aumentó de 299.322 unidades en 1970 a 339.994 unidades en 1973, exhibiendo las tensiones sociales exacerbadas por la inestabilidad económica.

Los niveles óptimos de mano de obra dentro del modelo I3EP proporcionan una explicación adicional de cómo se ajustó la economía a estos choques externos e internos. Como sabemos, los niveles óptimos de mano de obra ( $L^*$ ) sugieren un punto de equilibrio según la FPPF en el que las cantidades de mano de obra empleadas maximizan la producción, teniendo en cuenta la productividad laboral y la eficiencia del sistema de producción. En 1970, el nivel óptimo de mano de obra  $L^*$  fue de 119.003 millones de horas, reflejando un equilibrio que pretendía maximizar la producción dadas las fricciones existentes y las tasas de productividad. Este nivel aumentó bruscamente a 159.969 millones de horas en 1973, cuando la economía trató de aprovechar la mano de obra para contrarrestar las ineficiencias introducidas por el embargo petrolero y otras perturbaciones económicas. Sin embargo, en 1974,  $L^*$  se ajustó a 145.807 millones de horas, lo que indica una recalibración a medida que se asentaba el choque inicial del embargo petrolero y se realizaban nuevos ajustes económicos.

Recordemos que los niveles óptimos de  $L^{**}$  expresan puntos de equilibrio según el SPF en los que las cantidades de mano de obra empleadas son ecológicamente sostenibles, dada la relación entre la biocapacidad y la huella ecológica específica en un momento y lugar determinados. Estos niveles también experimentaron fluctuaciones a lo largo de la década. Partiendo de 81.701 millones de horas en 1970, el nivel de mano de obra ecológicamente sostenible subió a 106.919 millones de horas en 1973, reflejando una reducción en la presión medioambiental y la capacidad de la economía para manejar mayores niveles de mano de obra sin efectos adversos. Tras el embargo petrolero y la subsiguiente recesión económica, este nivel se reajustó a 96.925,8 millones de horas en 1974, alineándose con recalibraciones económicas más amplias, y un nivel menor de holgura al momento de manejar límites ecológicos reducidos.

Finalmente, entendemos que los niveles óptimos de  $L^{***}$  expresan la cantidad de mano de obra necesaria para alcanzar el nivel mínimo de producción de subsistencia en una sociedad, dadas las disparidades sociales relacionadas con la pobreza y la desigualdad, según el SPS. En otras palabras, esta métrica subraya la dimensión social del despliegue de mano de obra. Partiendo de 12.475 millones de horas en 1970, el nivel aumentó a 14.420 millones de horas en 1973, lo que indica un aumento de la mano de obra necesaria para mantener la subsistencia en medio de las crecientes tensiones sociales y presiones económicas. El nivel se ajustó ligeramente a 13.731,9 millones de horas en 1974, reflejando los ajustes económicos en curso.

Los niveles óptimos de capital proporcionan otra visión de los ajustes económicos durante la década de 1970. De manera similar que con el trabajo, recordemos que los niveles óptimos de capital ( $K^*$ ) sugieren un punto de equilibrio según la FPPF en el que las cantidades de capital empleadas maximizan la producción, teniendo en cuenta la productividad del capital y la eficiencia del sistema de producción. En 1970,  $K^*$  marcó aproximadamente 21 billones de dólares, reflejando

un equilibrio que pretendía maximizar la producción dadas las fricciones y las tasas de productividad existentes. Este nivel experimentó fluctuaciones, descendiendo a 17,8 billones en 1973 debido a las perturbaciones económicas provocadas por el embargo petrolero. En 1975,  $K^*$  aumentó significativamente a 23,6 billones, lo que indica los intentos de estabilizar la economía y ajustarse a las nuevas condiciones económicas. En este sentido, los niveles óptimos de capital continuaron ajustándose, alcanzando los 25,5 billones en 1976, lo que refleja los continuos esfuerzos por equilibrar el despliegue de capital con el cambiante panorama económico.

Los niveles de  $K^{**}$  óptimos también fluctuaron en este periodo, comenzando en 14,4 billones en 1970 y descendiendo a 11,8 billones en 1973, lo que evidencia el aumento de la presión medioambiental y la necesidad de una gestión más sostenible del capital. En 1976,  $K^{**}$  subió a aproximadamente 17 billones, lo que indica la recuperación y el ajuste a prácticas más sostenibles. Además, los niveles óptimos de  $K^{***}$  variaron a lo largo de esta época, partiendo de 2,2 billones en 1970, reduciéndose a 1,6 billones en 1973, y alcanzando nuevamente los 2,2 billones en 1975, mostrando los ajustes tomados para mantener la subsistencia en medio de las presiones económicas.

La Ley de Especies Amenazadas, promulgada el 28 de diciembre de 1973, demostró aún más el compromiso con la protección del medio ambiente. Esta ley pretendía proteger de la extinción a las especies en peligro crítico, reconociendo la importancia ecológica y económica de la biodiversidad. El impacto económico de esta legislación fue multifacético, implicando tanto costes de conservación como beneficios asociados a la preservación de los servicios de los ecosistemas. La Ley de Agua Potable Segura, promulgada el 16 de diciembre de 1974, estableció normas para el agua potable segura, garantizando la salud pública y reduciendo los costes sanitarios asociados a las enfermedades transmitidas por el agua. Estas políticas medioambientales reflejaron un cambio social más amplio hacia la valoración de la salud medioambiental y la sostenibilidad, influyendo en las actitudes y comportamientos públicos (Andrews 2006, 121; Portney 2002, 114; Steinberg 2002, 66).

El fin del embargo de petróleo de la OPEP, el 1 de marzo de 1974, marcó el inicio de la recuperación económica, pero los efectos de la crisis energética siguieron repercutiendo a lo largo de la década. La recesión de 1973-1975 alcanzó su punto más bajo el 1 de marzo de 1975, y la economía empezó a recuperarse lentamente. Durante este periodo,  $v$  alcanzó un mínimo de 0,259 en 1975, reflejando el impacto sustancial de la recesión en la productividad del capital. Sin embargo,  $\eta$  aumentó hasta 0,379, indicando que la productividad del trabajo empezaba a recuperarse, probablemente debido a los ajustes estructurales y a las intervenciones políticas para estabilizar la economía. Los niveles óptimos de producción para 1975 reflejaron esta recuperación, con un  $Y^*$  calculado en cerca de 8 billones de dólares, un  $Y^{**}$  en 3,7 billones y un  $Y^{***}$  en 71.567 millones.

Los niveles óptimos de mano de obra durante este periodo de recuperación muestran un descenso con respecto a los máximos de principios de los años setenta. En 1975,  $L^*$  fue de 117.694 millones de horas,  $L^{**}$  de 79.967 millones de horas y  $L^{***}$  de 11.088 millones de horas, lo que refleja la contracción económica y los ajustes posteriores a la crisis del petróleo. Esta disminución indica un intento de equilibrar el despliegue de mano de obra con la reducción de la actividad económica y el aumento de las medidas de eficiencia durante la recuperación. Durante este periodo de recuperación, los niveles óptimos de capital también muestran ajustes que reflejan el panorama

económico más amplio. En 1975,  $K^*$  fue de 23,6 billones de dólares,  $K^{**}$  de 16 billones y  $K^{***}$  de 2,2 billones, lo que también indica los esfuerzos por estabilizar el uso del capital en medio de la recuperación económica. Estos niveles ilustran los ajustes para optimizar la utilización del capital, equilibrando la actividad económica y las preocupaciones por la sostenibilidad.

El Crédito Fiscal por Ingreso del Trabajo (EITC), promulgado el 22 de agosto de 1975, impulsó significativamente a las familias trabajadoras con bajos ingresos, fomentando el trabajo y reduciendo la pobreza. El EITC estimuló la economía al aumentar la renta disponible y el gasto de consumo entre los hogares con ingresos bajos, lo que pone de relieve el papel de las políticas fiscales selectivas en el fomento de la recuperación económica. El EITC también desempeñó un papel crucial en la reducción de la desigualdad de ingresos y el apoyo a la movilidad económica, contribuyendo a un panorama económico más equitativo (Moffitt 2003, 33).

La política medioambiental siguió evolucionando con la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA) el 21 de octubre de 1976. Esta ley estableció un marco para gestionar adecuadamente los residuos sólidos peligrosos y no peligrosos, fomentando la conservación de los recursos y la protección del medio ambiente. Las implicaciones económicas incluían costes de cumplimiento para las empresas, pero los beneficios a largo plazo de la reducción de la contaminación medioambiental y la conservación de los recursos eran sustanciales (Portney 2002, 119). La RCRA representaba un enfoque con visión de futuro de la sostenibilidad medioambiental, que hacía hincapié en el valor económico de la gestión responsable de los residuos. Al fomentar el reciclaje y la reducción de residuos, la RCRA también contribuyó a desarrollar nuevos mercados y tecnologías en la industria de la gestión de residuos. En 1976, los niveles óptimos de producción mostraron un descenso a  $Y^*$  calculados en 7,3 billones,  $Y^{**}$  en 3,2 billones y  $Y^{***}$  en 52.292 millones, exponiendo estos continuos ajustes económicos.

A lo largo de este periodo, las métricas de productividad siguieron reflejando los ajustes económicos más generales. En 1976,  $\nu$  se recuperó hasta 0,345, y  $\eta$  aumentó hasta 0,394, lo que indica una mejora gradual de la productividad del capital y la mano de obra a medida que la economía se adaptó al nuevo entorno normativo y económico. Correspondientemente, las métricas de fricción reflejaron estos cambios, con  $\phi$  aumentando a 34,9 millones de Unidades de Fricción,  $\tau$  a 15,5 millones de unidades, y  $\psi$  a 248.484 unidades, destacando las continuas pero gradualmente decrecientes tensiones económicas, ecológicas y sociales.

Los niveles óptimos de mano de obra también reflejaron estas mejoras, con  $L^*$  aumentando a 134.144 millones de horas,  $L^{**}$  a 89.483 millones de horas y  $L^{***}$  a 11.313 millones de horas en 1976. Esta tendencia de recuperación continuó, con  $L^*$  alcanzando los 156.156 millones de horas en 1977,  $L^{**}$  a 103.136 millones de horas, y  $L^{***}$  a 13.159 millones de horas, lo que indica un entorno económico más estabilizado. Curiosamente, los niveles óptimos de capital también reflejaron esta recuperación, con  $K^*$  alcanzando los 25,5 billones en 1976,  $K^{**}$  aproximadamente los 17 billones, y  $K^{***}$  los 2,1 billones, lo que refleja los ajustes económicos más amplios y los esfuerzos por equilibrar el despliegue de capital con el cambiante panorama económico. Así, en 1977, los niveles óptimos de producción se calcularon como  $Y^*$  a 4,5 billones,  $Y^{**}$  a 1,9 billones, y  $Y^{***}$  a 32.222 millones de dólares.

Los últimos años de la década de 1970 estuvieron marcados por importantes acontecimientos geopolíticos, como el inicio de la Revolución iraní el 7 de enero de 1978 y su final el 11 de febrero de 1979. La revolución provocó otra interrupción del suministro de petróleo, agravando la crisis energética y contribuyendo a la inestabilidad económica (Yergin 2011, 624). El importante cambio de política monetaria de la Reserva Federal bajo el mandato de Paul Volcker, el 6 de octubre de 1979, marcó un punto de inflexión en la política económica. Ante una inflación persistentemente elevada, Volcker aplicó una serie de agresivas subidas de los tipos de interés, con el objetivo de controlar la inflación mediante una política monetaria restrictiva. Como veremos, este cambio tuvo importantes costes económicos a corto plazo, como el aumento del desempleo y la reducción del crecimiento económico. Sin embargo, acabó controlando la inflación, sentando las bases para la estabilidad económica en la década de 1980. Las políticas de Volcker subrayaron la importancia de una política monetaria creíble y decidida para mantener la estabilidad económica e influir en las futuras prácticas de los bancos centrales (Volcker y Gyohten 1992, 181).

Durante este periodo, las métricas de productividad mostraron resistencia y adaptación. A finales de 1979,  $\upsilon$  y  $\eta$  fueron de 0,458 y 0,409, respectivamente, indicando los primeros pasos de la estabilización de la productividad del capital y el trabajo a medida que las políticas de Volcker preparaban el camino para un periodo doloroso, pero posiblemente, necesario en la historia económica de EE.UU. Además,  $\phi$  alcanzó un máximo de 49,6 millones de unidades de fricción en 1979, mientras que  $\tau$  y  $\psi$  llegaron a 21,5 millones de unidades de fricción ecológica y 259.008 unidades de fricción social, respectivamente, ilustrando los importantes pero necesarios ajustes de la economía. En este sentido, los niveles óptimos de producción en 1979 fueron  $Y^*$  con 4,5 billones de dólares,  $Y^{**}$  con 1,9 billones, y  $Y^{***}$  con 23.914 millones.

Los niveles óptimos de mano de obra a finales de la década reflejaban esta dinámica económica más amplia. En 1979,  $L^*$  fue 176.744 millones de horas,  $L^{**}$  116.329 millones de horas y  $L^{***}$  12.762 millones de horas, lo que demuestra los continuos ajustes y cambios en las necesidades de mano de obra en respuesta a la evolución de las condiciones económicas. Los niveles óptimos de capital también reflejaron esta dinámica, con  $K^*$  alcanzando los 23,6 billones,  $K^{ast*}$  los 15,5 billones y  $K^{***}$  los 1,7 billones a finales de 1979.

La década de 1970 fue un decenio de turbulencias y transformaciones económicas en Estados Unidos. Las políticas medioambientales, las medidas fiscales, los programas de bienestar social y los acontecimientos geopolíticos crearon un panorama económico complejo y cambiante. La década comenzó centrándose en la sostenibilidad medioambiental y la equidad social, lo que se reflejó en leyes históricas como la NEPA, la Ley de Aire Limpio, la Ley de Agua Limpia y el programa SSI. Estas políticas sentaron las bases para un marco económico más sostenible y equitativo, reconociendo la interconexión de la salud medioambiental, el bienestar social y los resultados económicos. El embargo de petróleo de la OPEP y las crisis energéticas subsiguientes pusieron en evidencia la vulnerabilidad de la economía estadounidense a los choques externos y subrayaron la necesidad de independencia y resistencia energéticas.

Los retos económicos de la década de 1970, como la estanflación, las recesiones y las crisis energéticas, provocaron importantes respuestas políticas. La Ley de Estabilización Económica de 1970 y el Crédito Fiscal por Ingreso del Trabajo de 1975 representaron esfuerzos para estabilizar

la economía y apoyar a los hogares con bajos ingresos. La creación de la EPA y la promulgación de la RCRA demostraron un compromiso con la protección medioambiental y la conservación de los recursos, reconociendo los beneficios económicos a largo plazo de las prácticas sostenibles.

En general, la década de 1970 fue un periodo transformador en la historia económica estadounidense. Los retos y las respuestas de la década dieron forma a la trayectoria de la economía estadounidense, destacando la importancia de la sostenibilidad medioambiental, la equidad social y las políticas económicas resistentes. El legado de la década de 1970 puede verse en los continuos esfuerzos por equilibrar el crecimiento económico con la protección medioambiental y el bienestar social, garantizando un futuro sostenible e integrador. El periodo de 1970 a 1979 en Estados Unidos se caracterizó así por una compleja interacción de factores medioambientales, sociales, fiscales y geopolíticos que configuraron colectivamente el panorama económico. Los retos de la década, incluidas las crisis energéticas, la inflación y las recesiones, provocaron importantes respuestas políticas e innovaciones. Las lecciones aprendidas de estas experiencias influyeron en el desarrollo de políticas económicas más resistentes y adaptables en décadas posteriores. Por lo tanto, la evolución económica de los años setenta subraya la importancia de las medidas políticas proactivas y receptivas a la hora de abordar los retos económicos y promover el crecimiento sostenible. La atención prestada en la pasada década a la sostenibilidad medioambiental, la equidad social y la estabilidad económica sentó las bases para futuros avances y desarrollos políticos. El legado de la década de 1970 es evidente en los esfuerzos actuales por equilibrar el crecimiento económico con la protección medioambiental y el bienestar social, con el objetivo de lograr un futuro más sostenible e integrador para todos.

#### 5.4. Los transformadores años 80 y 90

Los años ochenta y noventa estuvieron marcados por cambios significativos en la política monetaria, importantes reformas legislativas, convulsiones geopolíticas y el inicio de la globalización, lo que hizo que estas décadas fueran transformadoras para la economía estadounidense. Estos años fueron testigos de la transición de la estanflación a la estabilidad y el crecimiento económicos, apuntalados por profundos cambios fiscales, medioambientales, sociales y de política comercial. El análisis de este periodo requiere comprender la compleja interacción entre estos acontecimientos y sus repercusiones económicas, que en conjunto configuraron la trayectoria de la economía estadounidense.

El importante cambio de política monetaria de la Reserva Federal bajo el mandato de Paul Volcker, iniciado el 6 de octubre de 1979, sentó las bases del panorama económico de la década de 1980. Las agresivas subidas de los tipos de interés de Volcker pretendían combatir la creciente inflación que había asolado la economía estadounidense durante toda la década de 1970 (Taylor 1999, 45). Al endurecer la política monetaria, Volcker buscó restablecer la confianza en el dólar estadounidense y estabilizar los precios. El impacto inmediato de esta política fue una grave contracción de la actividad económica, que condujo al punto álgido de la recesión de 1980 el 1 de enero de este año. Los elevados tipos de interés suprimieron el gasto de los consumidores y la inversión empresarial, aumentando el desempleo y reduciendo la producción industrial. Sin embargo, estas medidas eran necesarias para acabar con la inflación, que había socavado la estabilidad económica durante una década (Meltzer 2014, 724; Bernanke 2000, 65). Como

resultado, el nivel óptimo de producción  $Y^*$  para 1980 fue de 8,9 billones de dólares, lo que refleja los retos económicos de ese periodo. Al mismo tiempo, el nivel ecológicamente sostenible ( $Y^{**}$ ) y el nivel mínimo de subsistencia ( $Y^{***}$ ) fueron de 4,2 billones y 46.464 millones de dólares, respectivamente, lo que indica las prioridades económicas más amplias.

Aunque la recesión de 1980 alcanzó su punto más bajo el 1 de julio de 1980, la economía se mantuvo frágil. Como un vía para abordar esto, la Ley Integral de Respuesta, Compensación y Responsabilidad Medioambiental (CERCLA, o Superfondo), promulgada el 11 de diciembre de 1980, abordó la creciente preocupación por los vertederos de residuos peligrosos y la degradación medioambiental. Esta legislación histórica estableció un fondo para limpiar los lugares contaminados, reflejando la creciente importancia de la sostenibilidad medioambiental en la política económica (Percival 2000, 253). Sus implicaciones económicas incluyeron la creación de nuevas industrias centradas en el saneamiento medioambiental y el aumento de los costes de cumplimiento de la normativa para las empresas (Revesz 1997, 139). A pesar de la recesión económica, la CERCLA subrayó el compromiso de abordar los retos medioambientales y de salud pública a largo plazo.

Los primeros años de la década de 1980 se caracterizaron además por el pico de la recesión de 1981-1982, el 1 de julio de 1981. Esta recesión fue más profunda y prolongada que la de 1980, exacerbada por la política monetaria restrictiva y continuada de Volcker. Aunque resultaron eficaces para controlar la inflación, los elevados tipos de interés provocaron un dolor económico generalizado, que incluyó quiebras empresariales y tasas de desempleo disparadas (Taylor 1999, 67). La economía comenzó a recuperarse el 1 de noviembre de 1982, a medida que las tasas de inflación descendieron y la confianza de los consumidores volvió lentamente (Blinder 1987, 48). Sin embargo, los efectos de la recesión se dejaron sentir durante años, como refleja que los niveles óptimos de producción de  $Y^*$  fueran de 21,2 billones de dólares en 1982. El nivel de producción ecológicamente sostenible ( $Y^{**}$ ) también experimentó un aumento significativo hasta los 11,1 billones de dólares, subrayando la necesidad de sostenibilidad medioambiental en medio de la recuperación económica. En comparación, el nivel mínimo de subsistencia ( $Y^{***}$ ) incrementó a 155.654 millones de dólares, evidenciando cómo la complejidad económica de la recesión afectó la dimensión de subsistencia social.

Durante este periodo, la productividad del trabajo y del capital también empezó a cambiar, reflejando las turbulentas condiciones económicas. En 1980,  $\eta$  (productividad del trabajo) se situaba en 0,411 y  $\nu$  (productividad del capital) en 0,345. Estas cifras ilustran una base de eficiencia mientras EE.UU. luchaba contra los retos económicos. En 1982,  $\eta$  había aumentado ligeramente hasta 0,426, mientras que  $\nu$  había descendido significativamente hasta 0,223, subrayando el impacto adverso de los altos tipos de interés sobre la productividad del capital. Cuando las políticas económicas empezaron a surtir efecto, a mediados de la década de 1980 las métricas de productividad mejoraron. En 1985,  $\eta$  subió a 0,478 y  $\nu$  a 0,446, indicando una recuperación de la eficiencia del trabajo y del capital. Esta recuperación se hace aún más evidente en los niveles óptimos de producción, con un  $Y^*$  de 13,4 billones de dólares en 1984 y un  $Y^{**}$  de 6,5 billones de dólares, lo que refleja un enfoque equilibrado hacia la sostenibilidad económica y ecológica.

La recuperación de la productividad se refleja en los niveles óptimos de mano de obra ( $L^*$ ), mano de obra óptima ecológicamente sostenible ( $L^{**}$ ) y mano de obra para la subsistencia mínima ( $L^{***}$ ) durante los primeros años de la década de 1980. En 1980,  $L^*$  fue de 148.538 millones de horas anuales, mientras que  $L^{**}$  y  $L^{***}$  fueron de 102.383 millones y 10.719 millones de horas, respectivamente. Recordemos que estos valores indican los puntos de equilibrio para la mano de obra en el proceso de producción, teniendo en cuenta tanto los impactos ecológicos como sociales. En 1982,  $L^*$  habría disminuido significativamente hasta los 111.210 millones de horas, lo que refleja la contracción económica y el aumento de la ineficacia en el proceso de producción. Del mismo modo,  $L^{**}$  descendió a 80.615 millones de horas, y  $L^{***}$  a 9.522 millones de horas, lo que subraya las dificultades económicas más generales y las fricciones sociales durante la recesión.

Los niveles óptimos de capital ( $K^*$ ), el capital óptimo ecológicamente sostenible ( $K^{**}$ ) y el capital para la subsistencia mínima ( $K^{***}$ ) también fluctuaron durante este periodo. En 1980,  $K^*$  alcanzó los 29,3 billones de dólares,  $K^{**}$  los 20,2 billones de dólares y  $K^{***}$  los 2,1 billones de dólares. En 1982, curiosamente  $K^*$  habría aumentado durante la contracción económica a 37,3 billones de dólares, reflejando la necesidad de una mayor inversión de capital para apoyar la recuperación. Del mismo modo,  $K^{**}$  y  $K^{***}$  aumentaron a 27 billones y 3,2 billones de dólares, respectivamente, lo que indica la mayor importancia del capital sostenible y socialmente necesario durante la recesión.

La Ley Fiscal de Recuperación Económica de 1981, promulgada el 13 de agosto de 1981, fue una política fiscal fundamental diseñada para estimular el crecimiento económico. Esta ley redujo significativamente los tipos del impuesto sobre la renta de las personas físicas, aceleró las deducciones por depreciación de las empresas y redujo los impuestos sobre las plusvalías. Estas medidas pretendían incentivar la inversión, aumentar la renta disponible e impulsar la actividad económica general (Feldstein 1987, 12). Los recortes fiscales se basaban en la teoría económica del lado de la oferta, que postulaba que la reducción de las cargas fiscales estimularía la expansión económica al fomentar la producción y la inversión. Los efectos iniciales de los recortes fiscales fueron desiguales, ya que la economía aún estaba luchando contra la recesión, pero algunos expertos sostienen que sentaron las bases para el robusto crecimiento económico que siguió (Bartlett 1981, 99). En 1982, cuando la economía empezó a estabilizarse, el nivel óptimo de producción  $Y^*$  reflejó este cambio, alcanzando los 21,2 billones de dólares, mientras que la producción ecológicamente sostenible ( $Y^{**}$ ) marcó 11,1 billones de dólares, mostrando el equilibrio entre la recuperación económica y la sostenibilidad medioambiental.

Cuando la economía estadounidense empezó a estabilizarse y a crecer a mediados de los 80, la productividad del trabajo y del capital mejoró en consecuencia. En 1987,  $\eta$  alcanzó 0,499 y  $\upsilon$  0,473, demostrando una mayor eficiencia y reflejando el impacto positivo de las políticas fiscales y monetarias. Esta tendencia al alza continuó, con  $\eta$  y  $\upsilon$  alcanzando 0,517 y 0,555, respectivamente, en 1989, subrayando un periodo de aumento de la productividad y de recuperación económica. La estabilización de los niveles óptimos de producción en línea con los niveles históricos durante estos años, como  $Y^*$  llegando a 12,2 billones de dólares en 1987 e  $Y^{**}$  alcanzando 5,6 billones de dólares, reflejó estas mejoras. Los niveles óptimos de mano de obra ( $L^*$ ), junto con la mano de obra ecológicamente sostenible ( $L^{**}$ ) y socialmente necesaria ( $L^{***}$ ), también reflejaron estas mejoras. En 1985,  $L^*$  habría aumentado a 164.979 millones de horas,  $L^{**}$  a 112.608 millones de horas y  $L^{***}$  a 13.390 millones de horas, lo que indica una recuperación en la asignación de mano de obra en las

dimensiones económica y ecológica, y con esto, un aumento en el nivel mínimo de subsistencia social. Esta tendencia continuó, con  $L^*$  alcanzando los 204.819 millones de horas,  $L^{**}$  los 135.275 millones de horas, y  $L^{***}$  los 14.160 millones de horas en 1989, lo que ilustra la recuperación y estabilización económica más amplia. Del mismo modo, los niveles óptimos de capital ( $K^*$ ,  $K^{**}$  y  $K^{***}$ ) reflejaron estos cambios. En 1985,  $K^*$  fue 39,6 billones de dólares,  $K^{**}$  fue 27 billones, y  $K^{***}$  alcanzó los 3,2 billones de dólares. Estos niveles aumentaron a finales de la década, alcanzando  $K^*$  42,4 billones de dólares,  $K^{**}$  28 billones de dólares y  $K^{***}$  2,9 billones de dólares en 1989, lo que demuestra el aumento de la asignación de capital necesaria para apoyar la recuperación de la economía.

A mediados de la década de 1980 también se produjo un aumento de las fricciones económicas, como indica la evolución de  $\varphi$  (ineficiencias de producción),  $\tau$  (fricciones ecológicas) y  $\psi$  (fricciones sociales). En 1980,  $\varphi$  se situó en 39,6 millones lo que reflejaba importantes ineficiencias en el proceso de producción. En 1989,  $\varphi$  casi se habría duplicado hasta alcanzar los 77,7 millones lo que indica un aumento de las ineficiencias a pesar del incremento de la productividad. Este aumento sugiere que mientras la mano de obra y el capital se hacían más productivos, el proceso de producción general se enfrenta a una fricción cada vez mayor, debido potencialmente a las cargas normativas, los cambios en las prácticas industriales y otros cambios estructurales en la economía. Del mismo modo,  $\tau$  pasó de 18,8 millones en 1980 a 33,9 millones en 1989, subrayando las crecientes presiones ecológicas asociadas a las actividades económicas. En este periodo se produjo una mayor concienciación medioambiental y se adoptaron medidas reguladoras, como el Protocolo de Montreal de 1989, cuyo objetivo era hacer frente al agotamiento de la capa de ozono. El aumento de los valores de  $\tau$  evidencia los costes ecológicos de la expansión industrial y económica durante estos años. Las fricciones sociales, representadas por  $\psi$ , también aumentaron significativamente, de 206.571 en 1980 a 371.734 en 1989. Este aumento refleja las crecientes tensiones y desigualdades sociales que acompañaron a las transformaciones económicas, manifestando la necesidad de políticas que puedan hacer frente a estas disparidades.

A mediados de la década de 1980 se produjo una nueva reforma fiscal con la Ley de Reforma Fiscal de 1986, promulgada el 22 de octubre de 1986. Esta revisión integral del código tributario pretendía simplificar el sistema fiscal, ampliar la base impositiva y eliminar muchos refugios y lagunas fiscales (Slemrod 1990, 4). La ley pretendía hacer el sistema fiscal más eficiente y equitativo mediante la reducción de los tipos impositivos marginales superiores y la eliminación de numerosas deducciones. El impacto económico incluyó un aumento de los ingresos fiscales debido a una base impositiva más amplia y a una mayor igualdad de condiciones para las empresas. Estas reformas contribuyeron a un crecimiento económico sostenido y a la estabilidad fiscal en la última parte de la década (Rosen 2014, 151).

El panorama internacional también influyó significativamente en la economía estadounidense. El Protocolo de Montreal, que entró en vigor el 1 de enero de 1989, fue un acuerdo mundial para eliminar progresivamente las sustancias que agotan la capa de ozono. Esta política medioambiental tuvo importantes repercusiones económicas, ya que las industrias que dependían de los clorofluorocarbonos (CFC) tuvieron que adaptarse a las nuevas normativas e invertir en tecnologías alternativas. Los beneficios medioambientales a largo plazo y la creación de nuevos mercados para las tecnologías ecológicas mitigaron los costes económicos (Downie 2011, 276). Los niveles

óptimos de producción para 1989 reflejan estos cambios, con un  $Y^*$  de 11,9 billones de dólares, lo que indica la necesidad de seguir invirtiendo en sostenibilidad económica y medioambiental.

El final de la Guerra Fría, simbolizado por la caída del Muro de Berlín el 9 de noviembre de 1989 y la posterior reunificación alemana, marcó un importante cambio geopolítico. Estos acontecimientos señalaron el triunfo del capitalismo sobre el comunismo y allanaron el camino para la expansión de los mercados mundiales. La economía estadounidense se benefició del aumento de las oportunidades comerciales y de la apertura de los mercados de Europa del Este (Gaddis 2005, 234). Sin embargo, la transición también requirió importantes ajustes económicos, ya que las industrias se enfrentaron a una nueva competencia y el equilibrio de poder mundial cambió (Sachs 2005, 201). A principios de la década de 1990 se produjo otra recesión económica, que alcanzó su punto álgido el 1 de julio de 1990. El aumento de los precios del petróleo debido a la Guerra del Golfo, los elevados tipos de interés y el descenso de la confianza de los consumidores fueron algunos de los factores que contribuyeron a esta recesión (Ekelund y Tollison 1994, 519). La Ley de Contaminación por Petróleo, promulgada el 18 de agosto de 1990, y las Enmiendas a la Ley de Aire Limpio, el 15 de noviembre de 1990, reflejaron los continuos esfuerzos de la política medioambiental (Andrews 2006, 315). Estas legislaciones pretendían prevenir y mitigar los vertidos de petróleo y mejorar la calidad del aire. Las repercusiones económicas incluyeron un aumento de los costes de cumplimiento de la normativa para las empresas y beneficios a largo plazo para la salud y la sostenibilidad del medio ambiente (Oates 2006, 145). Durante este periodo, las fricciones económicas siguieron siendo elevadas. En 1990,  $\varphi$  alcanzó los 76,6 millones indicando la persistencia de las ineficiencias. Las fricciones ecológicas, representadas por  $\tau$ , también alcanzaron un máximo de 35 millones mientras que las fricciones sociales, indicadas por  $\psi$ , ascendieron a 440.090. Estas elevadas fricciones subrayaron los retos de equilibrar el crecimiento económico con la sostenibilidad ecológica y la equidad social.

Los niveles óptimos de capital durante este periodo reflejaron estos retos. En 1990,  $K^*$  fue 43,3 billones de dólares, mientras que  $K^{**}$  y  $K^{***}$  fueron 29,2 billones y 3,2 billones, respectivamente. Estas cifras ponen de manifiesto el aumento de las necesidades de capital para apoyar la recuperación económica y hacer frente a las fricciones sociales y ecológicas. La recesión de principios de los 90 alcanzó su punto más bajo el 1 de marzo de 1991, y la economía comenzó a recuperarse a medida que mejoraba la confianza de los consumidores y se estabilizaban los precios del petróleo. El final del proceso de reunificación alemana, el 15 de marzo de 1991, contribuyó aún más a la estabilidad económica mundial, proporcionando nuevas oportunidades para el comercio y la inversión internacionales (Sachs 2005, 205; Gaddis 2005, 237). Durante este periodo de recuperación, la productividad del trabajo ( $\eta$ ) y del capital ( $v$ ) mostraron notables mejoras. En 1991,  $\eta$  aumentó a 0,541 y  $v$  a 0,449, reflejando el impacto positivo de la estabilización de las condiciones económicas. Estas mejoras se reflejan en los niveles óptimos de producción, con  $Y^*$  alcanzando los 16,4 billones de dólares e  $Y^{**}$  7,7 billones de dólares en 1991.

La recuperación no necesariamente es evidente en los niveles óptimos de mano de obra. En 1991,  $L^*$  fue de 185.978 millones de horas, frente a los 204.263 millones de horas de 1990, lo que indica que la recuperación gradual de la economía no se debió a un aumento en el factor de trabajo. Los niveles óptimos para la sostenibilidad ecológica ( $L^{**}$ ) y la subsistencia social ( $L^{***}$ ) también mostraron esta tendencia, con  $L^{**}$  en 127.305 millones de horas y  $L^{***}$  en 14.049 millones de horas

en 1991. Por otra parte, los niveles óptimos de capital en 1991 sí reflejaron la mejora de las condiciones económicas.  $K^*$  ascendió a 45,3 billones de dólares, mientras que  $K^{**}$  y  $K^{***}$  aumentaron a 31 billones y 3,4 billones, respectivamente.

La Ley de Política Energética de 1992, promulgada el 24 de octubre de 1992, abordó la eficiencia energética, las energías renovables y la seguridad energética. Esta legislación promovía el desarrollo de fuentes de energía alternativas y pretendía reducir la dependencia de la nación de los combustibles fósiles. Las implicaciones económicas incluían el aumento de la inversión en tecnologías de energías renovables y la creación de nuevas industrias centradas en la eficiencia energética. Estas medidas formaban parte de un esfuerzo más amplio para garantizar la seguridad energética y la sostenibilidad medioambiental a largo plazo (Hirsh 1989, 187). Los datos de productividad corroboran aún más esta tendencia, ya que  $\eta$  alcanzó 0,564 y  $\nu$  0,504 en 1992, lo que indica una mejora sostenida de la productividad del trabajo y del capital. A pesar de estas ganancias, las fricciones económicas siguieron siendo motivo de preocupación. En 1992,  $\varphi$  se registró en 76,3 millones con  $\tau$  en 36,7 millones y  $\psi$  en 512.682. Estas cifras ponen de manifiesto las continuas ineficiencias y los retos medioambientales y sociales. Los niveles óptimos de capital durante los primeros años de la década de 1990 hicieron hincapié en la eficiencia energética y la sostenibilidad. En 1992,  $K^*$  alcanzó los 44,7 billones de dólares,  $K^{**}$  los 31 billones de dólares y  $K^{***}$  los 3,6 billones de dólares, lo que indica tanto la inversión de capital necesaria para apoyar estas políticas, como el aumento de capital necesario para alcanzar un mínimo de subsistencia.

La Ley de Baja Familiar y Médica (FMLA) de 1993, promulgada el 5 de febrero de 1993, fue una importante política de bienestar social que proporcionó una baja laboral protegida por motivos familiares y médicos. Esta legislación pretendía apoyar el equilibrio entre la vida laboral y familiar y mejorar la seguridad económica de las familias trabajadoras. La FMLA tuvo efectos económicos positivos al reducir la rotación de personal y fomentar una mano de obra más estable y productiva. Al permitir a los empleados tomarse los permisos necesarios sin temor a perder su empleo, la ley contribuyó al bienestar general de la mano de obra y a la estabilidad económica (Stone 2007, 99). En este periodo se registraron unos niveles óptimos de producción de  $Y^*$  de 13,9 billones de dólares en 1993, lo que ilustra el impacto económico positivo de las políticas de bienestar social, pese a ser un nivel menor a lo registrado en 1991 y 1992.

La política comercial cobró protagonismo con la promulgación del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) el 1 de enero de 1994. El TLCAN creó una de las mayores zonas de libre comercio del mundo, abarcando Estados Unidos, Canadá y México. El acuerdo pretendía eliminar las barreras comerciales, reducir los aranceles y promover la integración económica entre los países miembros. Las repercusiones económicas del TLCAN fueron sustanciales, ya que se tradujeron en un aumento de los flujos comerciales y de inversión, una mayor competitividad y la creación de nuevos puestos de trabajo (Frankel 1997, 132). Sin embargo, el acuerdo también fue objeto de críticas por contribuir a la pérdida de puestos de trabajo en sectores específicos y aumentar la desigualdad de ingresos (Rodrik 1997, 57). Los efectos a largo plazo del TLCAN pusieron de manifiesto las complejidades de la liberalización del comercio y la necesidad de políticas complementarias para abordar sus impactos distributivos. Durante este periodo, la productividad laboral ( $\eta$ ) y la productividad del capital ( $\nu$ ) continuaron su trayectoria ascendente, alcanzando  $\eta$  0,582 y  $\nu$  0,590 en 1994. Paralelamente a esta evolución, también evolucionaron las

fricciones económicas. En 1994,  $\varphi$  se elevó a 91,4 millones,  $\tau$  aumentó a 40 millones, y  $\psi$  subió a 639.601. Estas tendencias reflejan la complejidad de mantener las ganancias de productividad al tiempo que se gestionan los impactos ecológicos y sociales. Los niveles óptimos de capital a mediados de la década de 1990 ilustran aún más esta dinámica. En 1994,  $K^*$  fue 43,5 billones de dólares, mientras que  $K^{**}$  y  $K^{***}$  marcaron 28,8 billones de dólares y 3,6 billones de dólares, respectivamente. Estos niveles indican las importantes necesidades de capital necesarias para apoyar y mantener el crecimiento económico impulsado por políticas como el TLCAN.

La Ley de Reconciliación de la Responsabilidad Personal y las Oportunidades Laborales de 1996, también conocida como Ley de Reforma de la Asistencia Social, fue una política de asistencia social histórica promulgada el 22 de agosto de 1996. Esta ley reformó significativamente el sistema de asistencia social, introduciendo requisitos de trabajo, límites de tiempo y subvenciones estatales en bloque (Mead 1997, 14). El objetivo era reducir la dependencia de la asistencia gubernamental y fomentar la autosuficiencia a través del empleo. Las repercusiones económicas incluyeron la disminución del número de casos de asistencia social y el aumento de la participación en la población activa entre las personas con ingresos bajos (Blank 1997, 119). Sin embargo, la reforma también se enfrentó a críticas por aumentar potencialmente la pobreza y las dificultades entre las poblaciones vulnerables (Gilbert 2009). Los efectos a largo plazo de la reforma de la asistencia social subrayaron la necesidad de un enfoque equilibrado que apoyara la autosuficiencia económica y las redes de seguridad social (Mead 1997, 21). Aunque la productividad económica mejoró, las fricciones persistieron, con un  $\varphi$  de 103 millones, un  $\tau$  de 43,2 millones y un  $\psi$  de 623.224 en 1996. Estos valores ponen de relieve los continuos retos que plantea equilibrar el crecimiento económico con la sostenibilidad social y ecológica. Los niveles óptimos de capital a mediados de la década de 1990 reflejaron los impactos de estas políticas. En 1996,  $K^*$  habría ascendido a 47,5 billones de dólares,  $K^{**}$  a 30,8 billones y  $K^{***}$  a 3,7 billones de dólares, exponiendo el capital necesario para apoyar las políticas económicas y sociales.

Importantes acontecimientos internacionales, como el inicio de la crisis financiera asiática el 1 de julio de 1997, caracterizaron el final de la década de 1990. Esta crisis comenzó en Tailandia y se extendió rápidamente a otras economías asiáticas, causando graves trastornos económicos. La reducción de la demanda de exportaciones y la volatilidad de los mercados financieros afectaron a la economía estadounidense (Krugman 2009, 102). La crisis puso de relieve la interconexión de la economía mundial y la necesidad de respuestas internacionales coordinadas a las crisis económicas (Stiglitz 2002, 138). La respuesta estadounidense incluyó la prestación de ayuda financiera a través del Fondo Monetario Internacional (FMI) y el apoyo a las reformas económicas en los países afectados.

El Programa de Seguro Médico Infantil (CHIP), promulgado el 5 de agosto de 1997, amplió la cobertura del seguro médico a millones de niños con bajos ingresos. Esta política de bienestar social pretendía mejorar el acceso a la asistencia sanitaria y reducir el número de niños sin seguro. Las repercusiones económicas incluyen la mejora de los resultados sanitarios, la reducción de los costes de la atención sanitaria y el aumento de la productividad a largo plazo (Rimsza, Butler y Johnson 2007). Al atender las necesidades sanitarias de los niños vulnerables, el CHIP contribuyó a una población más sana y económicamente estable. Los niveles óptimos de producción durante

este periodo reflejaron estos impactos sociales positivos, con un  $Y^*$  que nuevamente alcanzó los 13,4 billones de dólares en 1997.

La Ley de Presupuesto Equilibrado de 1997, promulgada el 5 de agosto de 1997, pretendía eliminar el déficit presupuestario federal para el año 2002. Esta política fiscal incluía recortes del gasto, subidas de impuestos y reformas de los programas de prestaciones sociales. Las importantes repercusiones económicas condujeron a un presupuesto federal equilibrado y a un superávit a finales de los años noventa. La Ley reflejaba disciplina fiscal y un compromiso a largo plazo con la estabilidad económica, lo que contribuyó a un crecimiento económico robusto y a un bajo desempleo (Rivlin 1992, 223). Las métricas de productividad de este periodo corroboran esta estabilidad, ya que  $\eta$  y  $\upsilon$  muestran aumentos constantes, alcanzando 0,627 y 0,745, respectivamente, en 1998. A pesar de estas mejoras, las fricciones económicas siguieron siendo notables. En 1998,  $\varphi$  habría ascendido a 123,2 millones,  $\tau$  a 50,2 millones y  $\psi$  a 738.558 lo que indica el desafío constante de gestionar las ineficiencias y sus repercusiones en el tejido ecológico y social.

La introducción de la eurozona el 1 de enero de 1999 marcó un hito importante en la economía mundial. La adopción por parte de varios países europeos de una moneda única, el euro, facilitó la integración económica y aumentó el comercio dentro de Europa. Las implicaciones económicas para Estados Unidos incluyeron cambios en la dinámica comercial, fluctuaciones de los tipos de cambio y una mayor competencia en los mercados mundiales (De Grauwe 2012, 267). La creación de la eurozona subrayó la importancia de la cooperación económica y los retos de gestionar una moneda compartida entre economías diversas. A finales de la década,  $\eta$  y  $\upsilon$  alcanzaron sus puntos más altos en el conjunto de datos, con 0,649 y 0,790, respectivamente, lo que refleja el crecimiento económico general y las mejoras de la productividad de la década de 1990. Sin embargo, estas ganancias de productividad fueron acompañadas de fricciones crecientes. En 1999,  $\varphi$  ascendió a 132,8 millones,  $\tau$  a 51,7 millones y  $\psi$  a 796.851.

La evolución de los niveles óptimos de mano de obra ( $L^*$ ), de mano de obra ecológicamente sostenible ( $L^{**}$ ) y de mano de obra para la subsistencia mínima ( $L^{***}$ ) a lo largo de los años noventa pone de relieve las complejidades de estas décadas. En 1994,  $L^*$  ascendió a 231.302 millones de horas,  $L^{**}$  a 153.107 millones de horas y  $L^{***}$  a 19.349 millones de horas, lo que refleja un aumento significativo del trabajo necesario para alcanzar objetivos económicos, ecológicos y sociales. Esta tendencia continuó a finales de los 90, con  $L^*$  alcanzando los 290.849 millones de horas,  $L^{**}$  181.445 millones de horas y  $L^{***}$  22.525 millones de horas en 1999. Estas cifras demuestran los retos actuales de equilibrar las ganancias de productividad con la sostenibilidad ecológica y la equidad social. Los niveles óptimos de capital ( $K^*$ ,  $K^{**}$  y  $K^{***}$ ) a lo largo de la década de 1990 ilustran aún más las necesidades de capital asociadas a estos retos. En 1999,  $K^*$  habría alcanzado los 50,3 billones de dólares, mientras que  $K^{**}$  los 31,3 billones de dólares y  $K^{***}$  los 3,8 billones de dólares. Estos niveles reflejan las importantes necesidades de capital necesarias para apoyar las dimensiones económica, ecológica y social de la economía estadounidense.

Los importantes cambios políticos, los acontecimientos geopolíticos y las reformas económicas hicieron de las décadas de 1980 y 1990 unas décadas transformadoras para la economía estadounidense. La política monetaria de la Reserva Federal bajo el mandato de Paul Volcker, la

promulgación de importantes políticas medioambientales y sociales y el advenimiento de la globalización desempeñaron papeles cruciales en la configuración del panorama económico. Con un compromiso con la moderación fiscal, la sostenibilidad medioambiental y la equidad social, estas décadas supusieron la transición de la inestabilidad económica y la estanflación a un crecimiento robusto y a la estabilidad. La evolución económica de EE.UU. en los años ochenta y noventa subraya el papel fundamental de las medidas políticas adaptables y receptivas a la hora de abordar los retos económicos y fomentar el crecimiento a largo plazo. Este legado sigue conformando el pensamiento y la práctica económicos, subrayando la importancia de unas políticas equilibradas y con visión de futuro que promuevan un desarrollo económico sostenible e integrador. Al examinar este periodo, hemos obtenido valiosas perspectivas sobre las complejidades de la gestión económica y la interacción entre la política, la geopolítica y las tendencias económicas mundiales. Como veremos en la próxima sección, esta comprensión es crucial para navegar por los retos económicos del futuro y garantizar una economía mundial estable y próspera.

### 5.5. 2000 en adelante: Nuevo milenio, y nuevos cambios

El periodo comprendido entre 2000 y 2018 en Estados Unidos se caracterizó por importantes acontecimientos económicos y cambios políticos que influyeron profundamente en la trayectoria económica de la nación. Acontecimientos clave como el estallido de la burbuja puntocom, los atentados del 11 de septiembre, la Gran Recesión, el auge de la globalización, las iniciativas medioambientales y las importantes reformas fiscales y normativas definieron estos años. Comprender cómo estos acontecimientos moldearon la economía estadounidense requiere un análisis exhaustivo de sus repercusiones inmediatas y a largo plazo, complementado con las variables clave que influyeron en la productividad y las métricas de fricción durante este periodo.

Los primeros años de la década de 2000 comenzaron con una recesión económica, la Recesión de principios de la década de 2000, que alcanzó su punto álgido el 1 de marzo de 2001. Esta recesión fue desencadenada por el colapso de la burbuja de las puntocom, que supuso el rápido descenso de los precios de las acciones tecnológicas tras un auge especulativo a finales de la década de 1990 (Krugman y Wells 2018, 315). El estallido de la burbuja provocó importantes pérdidas en el mercado bursátil, redujo la riqueza y disminuyó el gasto de los consumidores y las empresas. El endurecimiento de la política monetaria por parte de la Reserva Federal, que supuso un aumento de los tipos de interés para combatir las presiones inflacionistas derivadas del auge económico de finales de los noventa, empeoró la desaceleración económica (Taylor y Weerapana 2010, 289). Durante este periodo, la productividad del capital ( $v$ ) y de la mano de obra ( $\eta$ ) experimentó fluctuaciones, con  $v$  disminuyendo de 0,814 en 2000 a 0,765 en 2001, y  $\eta$  aumentando de 0,669 a 0,687, lo que refleja un cambio hacia una utilización más eficiente de la mano de obra a pesar de la disminución de la productividad del capital. Además, las fricciones en el proceso de producción, cuantificadas como  $\varphi$ , disminuyeron ligeramente de 140 millones en 2000 a 137 millones en 2001, lo que indica una mejora marginal de la eficiencia económica a pesar de la recesión.

En este periodo también se produjo un descenso de los niveles óptimos de mano de obra ( $L^*$ ), que sugiere un punto de equilibrio en el que las cantidades de mano de obra maximizan la producción dada la productividad y la eficiencia.  $L^*$  disminuyó de 296.578 millones de horas en 2000 a 293.800 millones de horas en 2001. Del mismo modo, los niveles óptimos de mano de obra que son

ecológicamente sostenibles ( $L^{**}$ ) y los necesarios para lograr una producción mínima de subsistencia ( $L^{***}$ ) también experimentaron modificaciones durante este periodo, reflejando los retos económicos más generales, con un descenso de  $L^{**}$  de 183.833 millones de horas en 2000 a 181.149 millones de horas en 2001, y  $L^{***}$  aumentando de 23.013 millones de horas en 2000 a 24.692 millones de horas en 2001, lo que indica el aumento de las disparidades sociales. Los niveles óptimos de capital ( $K^*$ ) aumentaron gradualmente durante este periodo, partiendo de 53,3 billones de dólares en 2000 y ascendiendo a 53,8 billones de dólares en 2001. Los niveles ecológicamente sostenibles de capital ( $K^{**}$ ) y los niveles necesarios para la producción de subsistencia ( $K^{***}$ ) también aumentaron ligeramente, reflejando unas condiciones económicas más amplias, pasando  $K^{**}$  de 33 billones de dólares en 2000 a 33.2 billones de dólares en 2001, y  $K^{***}$  de 4,1 billones de dólares en 2000 a 4,5 billones de dólares en 2001. Los niveles óptimos de producción reflejaron diversas condiciones económicas en consonancia con estos cambios. El nivel óptimo de producción ( $Y^*$ ) fue de 13,6 billones de dólares en 2000, pasando a 14,5 billones de dólares en 2001, lo que indica un esfuerzo continuado por maximizar la producción a pesar de la recesión económica. La producción ecológicamente sostenible ( $Y^{**}$ ) y la producción mínima de subsistencia ( $Y^{***}$ ) aumentaron de forma similar, pasando  $Y^{**}$  de 5,2 billones de dólares en 2000 a 5,5 billones de dólares en 2001, y  $Y^{***}$  de 81.892 millones de dólares en 2000 a 102.425 millones de dólares en 2001, lo que refleja mejoras incrementales en las métricas productivas, y ecológicas, y un aumento en el nivel mínimo de producción de subsistencia.

Los atentados del 11 de septiembre de 2001, un acontecimiento significativo en la historia estadounidense con repercusiones económicas de gran alcance, agravaron aún más el impacto de estas tendencias económicas. Los efectos inmediatos incluyeron pérdidas sustanciales en el mercado bursátil, estimadas en unos 1,4 billones de dólares, una fuerte caída de la confianza de los consumidores y trastornos en varios sectores, en particular la aviación, los seguros y el turismo (Stiglitz 2010, 114). Además, los atentados provocaron un aumento significativo del gasto público en seguridad nacional y defensa, lo que contribuyó a los déficits presupuestarios (Blinder 2013, 223). La recuperación de los atentados fue gradual, alcanzándose el punto más bajo de la recesión el 1 de noviembre de 2001, a medida que mejoraba la confianza de los consumidores y se relajaba la política monetaria para estimular el crecimiento (Feldstein 2003, 98). La eficiencia de la mano de obra ( $\eta$ ) siguió mejorando, alcanzando 0,709 en 2002 y 0,735 en 2003, mientras que la productividad del capital ( $v$ ) se recuperó ligeramente hasta 0,759 en 2003. Este aumento de la productividad laboral ayudó a compensar parte del daño económico al aumentar la producción por trabajador, incluso cuando la inversión en capital se ralentizó. Sin embargo, las fricciones, medidas por  $\varphi$ , siguieron siendo relativamente altas, aumentando hasta 143,4 millones en 2003, lo que refleja los crecientes desafíos en el proceso de producción.

Los niveles óptimos de mano de obra ( $L^*$ ) disminuyeron hasta los 290.391 millones de horas en 2002, pero aumentaron hasta los 298.390 millones de horas en 2003, cuando la economía comenzó a recuperarse. Los niveles de mano de obra ecológicamente sostenibles ( $L^{ast*}$ ) y los niveles de mano de obra de subsistencia ( $L^{***}$ ) también reflejaron estas fluctuaciones, ya que  $L^{**}$  aumentó hasta los 186.861,3 millones de horas y  $L^{***}$  alcanzó los 26.945 millones de horas en 2003, mostrando una mejora de la sostenibilidad medioambiental y un mínimo de subsistencia creciente. Los niveles óptimos de capital ( $K^*$ ) durante el periodo de recuperación mostraron tendencias

variadas, con un aumento hasta los 56 billones de dólares en 2002, seguido de un ligero descenso hasta los 55,7 billones de dólares en 2003. Los niveles de capital ecológicamente sostenible ( $K^{**}$ ) y de capital de subsistencia ( $K^{***}$ ) aumentaron, alcanzando los 34,8 billones de dólares y los 4,7 billones de dólares en 2002, y luego los 34,9 billones de dólares y los 5 billones de dólares en 2003, respectivamente, lo que indica una recuperación gradual en el uso de capital en la producción. Asimismo, los niveles de producción reflejaron estas tendencias, con  $Y^*$  aumentando a 16,1 billones de dólares en 2002 y disminuyendo ligeramente a 15,9 billones de dólares en 2003. La producción ecológicamente sostenible ( $Y^{**}$ ) siguió aumentando, alcanzando los 6,21 billones de dólares en 2002 y los 6,24 billones de dólares en 2003. Del mismo modo, la producción mínima de subsistencia ( $Y^{***}$ ) aumentó, alcanzando los 113.703 millones de dólares en 2002 y los 129.959 millones de dólares en 2003, lo que indica la necesidad de redoblar los esfuerzos para abordar las disparidades sociales.

Las políticas medioambientales durante este periodo también desempeñaron un papel importante. El Protocolo de Kioto, que entró en vigor el 16 de febrero de 2005, pretendía reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y combatir el cambio climático (Stern 2006, 89). Aunque Estados Unidos no ratificó inmediatamente el Protocolo de Kioto, éste influyó en las políticas medioambientales nacionales y propició una mayor concienciación e inversión en energías renovables y eficiencia energética. Mientras tanto, el final de la crisis financiera asiática, el 21 de junio de 2005, ayudó a estabilizar los mercados financieros mundiales, contribuyendo a un entorno económico más favorable para el comercio y la inversión. Para entonces, la productividad del capital ( $v$ ) había aumentado hasta 0,813, y la del trabajo ( $\eta$ ) hasta 0,770, impulsadas por las inversiones tecnológicas y el cambio hacia prácticas empresariales más sostenibles. Las fricciones ecológicas y sociales, representadas por  $\tau$  y  $\psi$ , respectivamente, también mostraron tendencias que reflejaban unas condiciones económicas más complejas. Las fricciones ecológicas  $\tau$  aumentaron hasta 60,1 millones en 2005, indicando un creciente estrés medioambiental, mientras que las fricciones sociales  $\psi$  fluctuaron, reflejando distintos niveles de tensión social y desigualdad.

Los niveles óptimos de mano de obra ( $L^*$ ) aumentaron significativamente durante este periodo, alcanzando los 341.644 millones de horas en 2005. Los niveles de mano de obra ecológicamente sostenibles ( $L^{**}$ ) y los niveles de mano de obra de subsistencia ( $L^{***}$ ) también aumentaron, alcanzando los 210.189 millones de horas y los 28.926 millones de horas, respectivamente. Este aumento sugiere que los esfuerzos para mejorar la sostenibilidad y la necesidad de abordar las disparidades sociales estaban ganando terreno, contribuyendo a la resistencia económica general. Los niveles de capital óptimo ( $K^*$ ) y de capital ecológicamente sostenible ( $K^{**}$ ) también aumentaron, reflejando la estabilización económica, con  $K^*$  alcanzando los 47 billones de dólares y  $K^{**}$  los 28,9 billones de dólares en 2005. Los niveles de capital de subsistencia ( $K^{***}$ ) disminuyeron ligeramente hasta los 3.980.284,3 millones de dólares, lo que muestra una mejora temporal de las necesidades de subsistencia. Esta evolución se reflejó en los niveles de producción, con  $Y^*$  en 10,5 billones de dólares en 2004 y un ligero aumento a 10,7 billones de dólares en 2005. La producción ecológicamente sostenible ( $Y^{**}$ ) descendió a 4,07 billones de dólares en 2004, pero se estabilizó en 4,05 billones de dólares en 2005. La producción mínima de subsistencia ( $Y^{***}$ ) también mostró fluctuaciones, con 84.960 millones de dólares en 2004 y un ligero descenso a 76.770 millones de dólares en 2005.

El inicio de la crisis financiera mundial el 2 de abril de 2007 marcó el comienzo de una de las recesiones económicas más graves de la historia moderna. Los préstamos excesivos, los productos hipotecarios de riesgo y la proliferación de instrumentos financieros innecesariamente complejos contribuyeron al colapso de la burbuja del mercado inmobiliario que, en última instancia, desencadenó la crisis (Roubini y Mihm 2010, 62; Shiller 2008, 144). El punto álgido de la Gran Recesión, que comenzó el 2 de abril de 2007, fue testigo de una inestabilidad financiera generalizada, quiebras bancarias y una fuerte contracción de la actividad económica. El colapso de Lehman Brothers en septiembre de 2008 subrayó la gravedad de la crisis, provocando una contracción del crédito y una recesión mundiales (Sorkin 2010, 99). Durante este periodo, la productividad del capital ( $v$ ) se redujo significativamente, alcanzando un mínimo de 0,627 en 2009, mientras que la productividad del trabajo ( $\eta$ ) aumentó hasta 0,812. El contraste entre el descenso de la eficiencia del capital y el aumento de la productividad laboral puso de relieve la dependencia de la economía del capital humano para mantener los niveles de producción en medio de la inestabilidad financiera. A pesar de las medidas políticas, las ineficiencias en el proceso de producción ( $\varphi$ ) siguieron siendo elevadas, disminuyendo ligeramente hasta 140 millones en 2009.

Los niveles óptimos de mano de obra ( $L^*$ ) reflejaron la recesión económica, cayendo a 272.796 millones de horas en 2009. Los niveles de mano de obra ecológicamente sostenibles ( $L^{**}$ ) y los niveles de mano de obra de subsistencia ( $L^{***}$ ) también disminuyeron, reflejando la contracción económica más general, con  $L^{**}$  en 185.281 millones de horas y  $L^{***}$  en 22.997,4 millones de horas en 2009. Por otro lado, los niveles óptimos de capital ( $K^*$ ) experimentaron fluctuaciones significativas durante la crisis financiera, subiendo a 62,1 billones de dólares en 2007, seguidos de un aumento a 64,7 billones de dólares en 2008 y un pico de 72,9 billones de dólares en 2009. Los niveles de capital ecológicamente sostenible ( $K^{**}$ ) y de capital de subsistencia ( $K^{***}$ ) también aumentaron, alcanzando los 49,5 billones de dólares y los 6,1 billones de dólares en 2009, respectivamente. Los datos de producción durante la crisis ilustran aún más estas tendencias, con un pico de  $Y^*$  de 18,8 billones de dólares en 2007, un aumento a 20,6 billones de dólares en 2008 y un repunte significativo a 30,8 billones de dólares en 2009, mostrando la necesidad de aumentar la producción con el fin de mitigar, al menos en cierta medida, los efectos de la crisis. La producción ecológicamente sostenible ( $Y^{**}$ ) siguió esta tendencia al alza, alcanzando los 14,2 billones de dólares en 2009. La producción mínima de subsistencia ( $Y^{***}$ ) mostró el mismo patrón, aumentando hasta los 219.492 millones de dólares en 2009, evidenciando el importante impacto social de la crisis.

El alza de estas medidas puede explicarse en parte por la legislación y medidas aplicadas para solucionar la contracción económica. Por ejemplo, la Ley de Estabilización Económica de Emergencia de 2008 se promulgó el 3 de octubre de 2008 en respuesta a la crisis financiera. Esta ley estableció el Programa de Alivio de Activos en Problemas (TARP, por sus siglas en inglés), que proporcionó 700.000 billones de dólares para estabilizar el sistema bancario mediante la compra de activos en dificultades y la inyección de capital a las instituciones financieras (Paulson 2010, 133). La Reserva Federal también aplicó políticas de Quantitative Easing (Q.E.), comenzando con la QE1 el 25 de noviembre de 2008. El objetivo era inyectar liquidez en la economía y apoyar a los mercados financieros (Bernanke 2015, 344). Estas medidas fueron cruciales para evitar un colapso total del sistema financiero y restablecer la confianza en el sector bancario.

Para mitigar aún más los efectos de la recesión, el 17 de febrero de 2009 se promulgó la Ley de Recuperación y Reinversión de Estados Unidos (ARRA) de 2009. Este amplio paquete de estímulo fiscal incluía inversiones en infraestructuras, educación, sanidad y energías renovables, así como recortes fiscales y la ampliación de las prestaciones por desempleo (Romer y Bernstein 2009, 14). El enfoque de la ARRA en la creación de empleo y la recuperación económica ayudó a estabilizar la economía, y el mínimo de la recesión alcanzado el 24 de junio de 2009 señaló el inicio de una recuperación lenta pero constante (Krugman 2009, 205). Tras la recuperación, la productividad del capital ( $v$ ) comenzó a mejorar, aumentando hasta 0,687 en 2010 y continuando una tendencia al alza, mientras que la productividad del trabajo ( $\eta$ ) mantuvo niveles elevados, alcanzando 0,827 en 2010. Las mejoras tanto en  $v$  como en  $\eta$  durante esta fase de recuperación subrayaron la eficacia de las intervenciones políticas para mejorar la eficiencia económica general. Al mismo tiempo, las fricciones en la producción ( $\varphi$ ) aumentaron hasta 152,4 millones en 2010, reflejando los retos del proceso de recuperación.

Los niveles óptimos de mano de obra ( $L^*$ ) también repuntaron, aumentando hasta los 295.823 millones de horas en 2010. Los niveles de mano de obra ecológicamente sostenibles ( $L^{**}$ ) y los niveles de mano de obra de subsistencia ( $L^{***}$ ) mostraron mejoras similares, alcanzando los 194.047 millones de horas y los 26.462 millones de horas, respectivamente. Los niveles óptimos de capital ( $K^*$ ) también reflejaron estas tendencias de recuperación, estabilizándose y regresando a la tendencia histórica con 69,3 billones de dólares en 2010. Los niveles de capital ecológicamente sostenible ( $K^{**}$ ) y de subsistencia ( $K^{***}$ ) siguieron el mismo camino, reflejando los esfuerzos de recuperación en curso, alcanzando los 45,4 billones de dólares y los 6,2 billones de dólares en 2010. Los niveles de producción posteriores a la recuperación también reflejaron estas tendencias, con un máximo de  $Y^*$  de 30,8 billones de dólares en 2009 y un descenso posterior hasta los 26,1 billones de dólares en 2010. La producción ecológicamente sostenible ( $Y^{**}$ ) mostró tendencias similares, alcanzando un máximo de 14,2 billones de dólares en 2009 y descendiendo a 11,2 billones en 2010. La producción mínima de subsistencia ( $Y^{***}$ ) siguió el mismo patrón, alcanzando los 219.492 millones de dólares en 2009 y descendiendo hasta los 208.986 billones de dólares en 2010.

Sin embargo, la crisis de la deuda europea, que comenzó el 20 de octubre de 2009, demostró que el entorno económico mundial seguía siendo inestable. Los elevados niveles de deuda soberana de varias naciones de la eurozona sirvieron de catalizador de la crisis, que provocó una importante volatilidad en los mercados financieros y preocupación por la estabilidad de la eurozona (Eichengreen 2011, 144). La economía estadounidense se vio afectada por la reducción de la demanda de exportaciones y el aumento de la incertidumbre financiera. No obstante, las continuas medidas de Q.E. de la Reserva Federal, incluida la QE2 en noviembre de 2010 y la QE3 en septiembre de 2012, contribuyeron a apoyar el crecimiento económico nacional y a mitigar los efectos adversos de la crisis europea (Blinder 2013, 321). Durante este tiempo, la productividad del capital y del trabajo experimentó mejoras, con  $v$  alcanzando 0,739 en 2012 y  $\eta$  0,828, lo que refleja la resistencia de la economía estadounidense para adaptarse a los choques externos y mantener el crecimiento de la productividad. Las fricciones ecológicas ( $\tau$ ) y sociales ( $\psi$ ) también aumentaron durante este periodo, con  $\tau$  alcanzando 74,2 millones y  $\psi$  1,3 millones en 2012, lo que indica crecientes desafíos medioambientales y sociales.

Los niveles óptimos de mano de obra ( $L^*$ ) siguieron aumentando, alcanzando los 327.802 millones de horas en 2012, mientras que los niveles de mano de obra ecológicamente sostenibles ( $L^{**}$ ) ascendieron a 219.828 millones de horas, y los niveles de mano de obra de subsistencia ( $L^{***}$ ) aumentaron a 29.660 millones de horas. Los niveles de capital óptimo ( $K^*$ ) y de capital ecológicamente sostenible ( $K^{**}$ ) también reflejaron estas tendencias positivas, alcanzando los 64,5 billones de dólares y los 43,2 billones de dólares en 2012. Los niveles de capital de subsistencia ( $K^{***}$ ) experimentaron un aumento hasta los 5,8 billones de dólares, lo que demuestra la recuperación económica general y la capacidad de recuperación. Como reflejo de estas mejoras, los niveles de producción mostraron tendencias positivas, con un  $Y^*$  de 20,8 billones de dólares en 2012 y un descenso posterior hasta los 16,8 billones de dólares en 2013. La producción ecológicamente sostenible ( $Y^{**}$ ) siguió una tendencia similar, alcanzando los 9,3 billones de dólares en 2012 y descendiendo hasta los 7,6 billones de dólares en 2013. La producción mínima de subsistencia ( $Y^{***}$ ) aumentó hasta los 171.048 millones de dólares en 2012 antes de descender hasta los 137.316 millones de dólares en 2013, lo que indica la continuación de los esfuerzos para abordar las disparidades sociales.

A nivel nacional, se emprendió una importante reforma sanitaria con la Ley de Asistencia Asequible (ACA), promulgada el 23 de marzo de 2010. La ACA pretendía aumentar la cobertura sanitaria, reducir los costes y mejorar los resultados de la atención sanitaria. Las implicaciones económicas incluían un mayor acceso a la atención sanitaria para millones de estadounidenses, una reducción de los costes de la atención no compensada para los hospitales y un cambio en los patrones de empleo debido a los cambios en los requisitos del seguro médico patrocinado por el empleador (Gruber 2011, 219; Cutler 2014, 110). Al mismo tiempo, la Ley Dodd-Frank de Reforma de Wall Street y Protección del Consumidor, promulgada el 21 de julio de 2010, introdujo importantes cambios normativos para mejorar la estabilidad financiera y proteger a los consumidores. Esta ley pretendía evitar que se repitiera la crisis financiera aumentando la supervisión de las instituciones financieras, reduciendo el riesgo sistémico y mejorando la transparencia de los mercados financieros.

El 5 de abril de 2012, la Ley Jumpstart Our Business Startups (JOBS) estimuló aún más el entorno económico. Esta ley pretendía espolear el crecimiento económico aligerando las cargas reglamentarias que pesan sobre las pequeñas empresas y las empresas de nueva creación, facilitando la formación de capital al permitir la financiación participativa colectiva (equity crowdfunding) y ampliando el acceso de las empresas emergentes a los mercados públicos (Bernanke 2015, 388). El aumento del espíritu empresarial, la innovación y la creación de empleo que siguieron contribuyeron a la recuperación económica general. Las tendencias positivas en la productividad continuaron, con  $\nu$  alcanzando 0,756 en 2013 y  $\eta$  0,830, contribuyendo aún más a la resistencia económica. Además, los niveles óptimos de mano de obra ( $L^*$ ) experimentaron nuevos aumentos, alcanzando los 348.230 millones de horas en 2013, con unos niveles de mano de obra ecológicamente sostenibles ( $L^{**}$ ) de 233.723 millones de horas y unos niveles de mano de obra de subsistencia ( $L^{***}$ ) de 31.399 millones de horas. Además, los niveles óptimos de capital ( $K^*$ ) reflejaron estas tendencias, alcanzando los 58,8 billones de dólares en 2013, mientras que los niveles de capital ecológicamente sostenible ( $K^{**}$ ) y de capital de subsistencia ( $K^{***}$ ) se situaron en 39,4 billones de dólares y 5,3 billones de dólares, respectivamente. Estas mejoras en la productividad del capital y del trabajo se reflejaron en los niveles de producción, con  $Y^*$  en 16,8

billones de dólares en 2013. La producción ecológicamente sostenible ( $Y^{**}$ ) alcanzó los 7,6 billones de dólares, y la producción mínima de subsistencia ( $Y^{***}$ ) se situó en 137.316 millones de dólares en el mismo año.

La eventual resolución de la crisis de la deuda europea el 15 de mayo de 2014 marcó el retorno a una relativa estabilidad en los mercados financieros mundiales. La resolución ayudó a restaurar la confianza en la eurozona y a reducir la volatilidad de los mercados financieros a través de medidas de austeridad, programas de asistencia financiera y reformas estructurales. Esta estabilización benefició a la economía estadounidense a través de la mejora de la demanda de exportaciones y el aumento de los flujos de inversión, apoyando el crecimiento económico continuado (Eichengreen 2015, 231). Como reflejo de esta estabilidad, la productividad del capital ( $\upsilon$ ) aumentó hasta 0,789 en 2014, mientras que la productividad laboral ( $\eta$ ) alcanzó 0,833, lo que indica el continuo impacto positivo de la estabilidad internacional en los resultados económicos nacionales. A pesar de estos avances, las fricciones ecológicas ( $\tau$ ) y sociales ( $\psi$ ) aumentaron hasta 81,5 millones y 1,4 millones, respectivamente, lo que pone de relieve los continuos retos medioambientales y sociales. Además, los niveles óptimos de mano de obra ( $L^*$ ) se mantuvieron altos en 347.997 millones de horas en 2014, con unos niveles de mano de obra ecológicamente sostenibles ( $L^{**}$ ) de 235.576 millones de horas y unos niveles de mano de obra de subsistencia ( $L^{***}$ ) de 31.708 millones de horas. Los niveles de capital óptimo ( $K^*$ ) y de capital ecológicamente sostenible ( $K^{**}$ ) mostraron un crecimiento continuo, alcanzando los 65,7 billones de dólares y los 44,4 billones de dólares en 2014. Le siguieron los niveles de capital de subsistencia ( $K^{***}$ ), que alcanzaron los 5,9 billones de dólares, reflejo de la estabilidad y la recuperación económicas más amplias. Los niveles de producción durante este periodo mostraron tendencias coherentes, con un  $Y^*$  de 20,2 billones de dólares en 2014, y una producción ecológicamente sostenible ( $Y^{**}$ ) de 9,2 billones de dólares. La producción mínima de subsistencia ( $Y^{***}$ ) aumentó hasta los 167.879 millones de dólares en 2014, lo que indica crecientes problemas a la hora de abordar las disparidades sociales.

La Ley de Innovación y Oportunidades para la Mano de Obra, promulgada el 22 de julio de 2014, tenía como objetivo mejorar los programas de desarrollo de la mano de obra y potenciar los servicios de formación y empleo. Al alinear los esfuerzos de desarrollo de la mano de obra con las necesidades de los empleadores, promover itinerarios profesionales y mejorar los resultados para los solicitantes de empleo, la Ley fomentó una mano de obra más cualificada, mayores oportunidades de empleo y una mayor productividad económica (Goldin y Katz 2008, 217). Las políticas fiscales durante este periodo incluyeron la Ley de Prevención del Aumento de Impuestos de 2014, promulgada el 19 de diciembre de 2014, que prorrogó varias disposiciones fiscales que expiraban para proporcionar un alivio fiscal temporal a particulares y empresas. Esta ley apoyó el crecimiento económico manteniendo los incentivos fiscales a la inversión, la investigación y el desarrollo, y la eficiencia energética, aumentando así la inversión empresarial, la creación de empleo y el apoyo a las industrias críticas.

La sostenibilidad medioambiental siguió siendo una prioridad, ejemplificada por el Plan de Energía Limpia anunciado el 3 de agosto de 2015. El plan pretendía reducir las emisiones de carbono de las centrales eléctricas y promover el desarrollo de energías limpias fijando objetivos de reducción de las emisiones de carbono específicos para cada estado y fomentando la inversión en energías renovables y eficiencia energética (Stern 2006, 134). Las implicaciones económicas incluían una

transición hacia una combinación energética más sostenible, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la creación de nuevas industrias y puestos de trabajo en el sector de las energías limpias. En 2015, la productividad del capital y del trabajo mejoró significativamente, con  $\nu$  en 0,831 y  $\eta$  en 0,841, impulsadas por los avances tecnológicos y el aumento de la eficiencia. Sin embargo, la fricción ecológica ( $\tau$ ) aumentó significativamente hasta 87 millones lo que refleja los retos actuales para equilibrar el crecimiento económico con la sostenibilidad medioambiental.

Los niveles óptimos de mano de obra ( $L^*$ ) siguieron aumentando, alcanzando los 354.666 millones de horas en 2015, mientras que los niveles de mano de obra ecológicamente sostenibles ( $L^{**}$ ) alcanzaron los 241.817 millones de horas, y los niveles de mano de obra de subsistencia ( $L^{***}$ ) aumentaron hasta los 34.163 millones de horas. Además, los niveles de capital óptimo ( $K^*$ ) y de capital ecológicamente sostenible ( $K^{**}$ ) también aumentaron durante este periodo, alcanzando los 69,4 billones de dólares y los 47,3 billones de dólares en 2015. Los niveles de capital de subsistencia ( $K^{***}$ ) ascendieron a 6,6 billones de dólares, lo que indica una creciente necesidad del uso de capital para la subsistencia. Las tendencias positivas en productividad y sostenibilidad también se reflejaron en los niveles de producción, con un  $Y^*$  de 21,6 billones de dólares en 2015. La producción ecológicamente sostenible ( $Y^{**}$ ) alcanzó los 10 billones de dólares, mientras que la producción mínima de subsistencia ( $Y^{***}$ ) aumentó hasta los 200.758 millones de dólares, lo que pone de relieve los necesarios esfuerzos para abordar las disparidades sociales y mejorar las condiciones económicas generales.

La reforma educativa se abordó a través de la Ley Cada Estudiante Triunfa (ESSA, por sus siglas en inglés), promulgada el 10 de diciembre de 2015. Esta ley sustituyó a la ley Que ningún niño se quede atrás, proporcionando una mayor flexibilidad a los estados y a los gobiernos locales, al tiempo que hacía hincapié en la rendición de cuentas, la equidad y el apoyo a los estudiantes desfavorecidos. La mejora de los resultados educativos, la reducción de las brechas de rendimiento y una mano de obra más cualificada y competitiva resultantes de la ESSA tuvieron repercusiones económicas positivas (Murnane y Willett 2011, 299).

El compromiso internacional para combatir el cambio climático se reafirmó con la ratificación por parte de Estados Unidos del Acuerdo de París el 4 de noviembre de 2016. Este histórico acuerdo internacional pretendía reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y limitar el aumento de la temperatura global (Stern 2015, 104). Las implicaciones económicas incluían un aumento de la inversión en tecnologías de energías limpias, la creación de empleo en el sector de las energías renovables y beneficios a largo plazo para el medio ambiente y la salud pública. Durante este periodo, la productividad del capital ( $\nu$ ) alcanzó 0,838 en 2016, mientras que la productividad laboral ( $\eta$ ) aumentó hasta 0,842, lo que refleja el énfasis sostenido en las políticas medioambientales y su impacto positivo en la eficiencia económica. Sin embargo, las fricciones ecológicas ( $\tau$ ) y sociales ( $\psi$ ) siguieron siendo elevadas, con 92,4 millones y 1,5 millones respectivamente, lo que indica los retos actuales para lograr la eficiencia ecológica y social. No obstante, los niveles óptimos de mano de obra ( $L^*$ ) aumentaron hasta los 365.648 millones de horas en 2016, con unos niveles de mano de obra ecológicamente sostenibles ( $L^{**}$ ) de 254.474 millones de horas, y unos niveles de mano de obra de subsistencia ( $L^{***}$ ) de 33.160 millones de horas. Los niveles óptimos de capital ( $K^*$ ) reflejaron estas mejoras, alcanzando los 68,2 billones de dólares en 2016, mientras que los niveles de capital ecológicamente sostenible ( $K^{**}$ ) y de subsistencia ( $K^{***}$ )

se situaron en 47,5 billones de dólares y 6,2 billones de dólares, respectivamente. Los niveles de producción durante este periodo mostraron tendencias positivas continuas, con un  $Y^*$  de 20,5 billones de dólares en 2016. La producción ecológicamente sostenible ( $Y^{**}$ ) alcanzó los 9,9 billones de dólares, mientras que la producción mínima de subsistencia ( $Y^{***}$ ) se situó en 168.997 millones de dólares.

El periodo concluyó con la Ley de recortes y empleos fiscales de 2017, promulgada el 22 de diciembre de 2017. Esta ley, que representa la revisión más importante del código tributario estadounidense en décadas, redujo los tipos del impuesto de sociedades, aumentó la deducción estándar y modificó los tramos impositivos individuales. El impacto económico incluyó un aumento de la inversión empresarial, mayores beneficios corporativos y un impulso al crecimiento económico (Gale et al. 2018, 11). Sin embargo, la Ley fue criticada por beneficiar desproporcionadamente a los individuos y corporaciones de mayores ingresos. Las preocupaciones sobre su impacto en el déficit federal y la desigualdad de ingresos continúan (Piketty 2014, 302; Stiglitz 2019, 211). En 2018, la productividad del capital ( $\nu$ ) había subido a 0,884, y la productividad del trabajo ( $\eta$ ) a 0,856, reflejando el impacto acumulativo de las políticas económicas y los avances tecnológicos a lo largo del periodo. No obstante, las fricciones en el proceso de producción ( $\varphi$ ), el impacto ecológico ( $\tau$ ) y la tensión social ( $\psi$ ) siguieron siendo significativos, con 203,1; 94,9; y 1,4 millones, respectivamente, lo que pone de relieve la necesidad de seguir esforzándose por abordar las ineficiencias y las desigualdades sociales.

Los niveles óptimos de mano de obra ( $L^*$ ) alcanzaron los 387.986 millones de horas en 2018, mientras que los niveles de mano de obra ecológicamente sostenibles ( $L^{**}$ ) se situaron en 265.293 millones de horas, y los niveles de mano de obra de subsistencia ( $L^{***}$ ) en 33.027 millones de horas. Los niveles óptimos de capital ( $K^*$ ) alcanzaron los 68,2 billones de dólares en 2018, con unos niveles de capital ecológicamente sostenibles ( $K^{**}$ ) de 46,9 billones de dólares y unos niveles de capital de subsistencia ( $K^{***}$ ) de 5,8 billones de dólares. Las tendencias de la producción reflejaron estos cambios, con  $Y^*$  alcanzando los 19,8 billones de dólares en 2018. La producción ecológicamente sostenible ( $Y^{**}$ ) se situó en 9,2 billones de dólares, mientras que la producción mínima de subsistencia ( $Y^{***}$ ) alcanzó los 143.686 millones de dólares, lo que indica los continuos esfuerzos por abordar las disparidades sociales y mejorar las condiciones económicas generales.

Entre 2000 y 2018 se produjeron importantes problemas económicos y respuestas políticas que influyeron en la dirección de la economía estadounidense. A principios de la década de 2000 se produjeron las secuelas del estallido de la burbuja de las puntocom y de los atentados del 11 de septiembre, que condujeron a la incertidumbre económica y a la recuperación. La crisis financiera mundial y la Gran Recesión supusieron un importante punto de inflexión, provocando amplias intervenciones fiscales y monetarias para estabilizar la economía. Las políticas medioambientales, como el Protocolo de Kioto, el Plan de Energía Limpia y el Acuerdo de París, reflejaron un compromiso creciente con la sostenibilidad y la acción por el clima. Las reformas del bienestar social, como la Ley de Asistencia Sanitaria Asequible y la Ley de Éxito para Todos los Estudiantes, tenían como objetivo mejorar los resultados de la asistencia sanitaria y la educación, contribuyendo a la estabilidad económica y la productividad a largo plazo. Las políticas fiscales, como la Ley de Recuperación y Reinversión Estadounidense, la Ley de Prevención de la Subida de Impuestos y la Ley de Recortes y Empleos Fiscales, desempeñaron un papel crucial en el estímulo del crecimiento

económico y el apoyo a la recuperación. Las reformas normativas, incluidas la Ley Dodd-Frank y la Ley JOBS, tenían como objetivo mejorar la estabilidad financiera, promover el espíritu empresarial y proteger a los consumidores. El periodo también puso de relieve la importancia de la cooperación internacional y la globalización, con acontecimientos como la crisis de la deuda europea y la ratificación del Acuerdo de París que subrayaron la interconexión de la economía mundial. La narrativa económica de 2000 a 2018 demuestra la resistencia de la economía estadounidense frente a retos significativos y el papel fundamental de las políticas adaptativas y con visión de futuro para promover el crecimiento sostenible y la estabilidad.

#### 5.6. Históricos de capital, trabajo y producción vs. contrapartes calculadas

En los años posteriores a la Segunda Guerra Mundial, la economía de EE.UU. experimentó un crecimiento significativo impulsado por los esfuerzos de reconstrucción y expansión. En 1950, la mano de obra histórica era de aproximadamente 100.000 millones de horas, mientras que la mano de obra óptima era de 59.500 millones de horas. Esta diferencia sugiere ineficiencias o sobreempleo en ciertos sectores durante la posguerra. El stock de capital histórico en 1950 era de 10,56 billones de USD, mientras que el capital óptimo era de 7,28 billones de USD, indicando un exceso de inversión en algunos sectores. Estas diferencias reflejan las dinámicas de crecimiento y reconstrucción de la posguerra, así como la necesidad de políticas más eficientes para alinear la asignación de recursos con los niveles óptimos. La sobreinversión y el sobreempleo podrían haber sido consecuencia de la rápida industrialización y la movilización masiva de recursos humanos y de capital, que aunque necesarios para la reconstrucción, no eran sostenibles a largo plazo. Para la producción, en 1950, la producción histórica fue de aproximadamente 2,47 billones de USD, mientras que la producción óptima para la FPPF fue de 1,40 billones de USD, sugiriendo posibles ineficiencias o exceso de producción. Estas tendencias persistieron hasta mediados de los años 50, reflejando el crecimiento económico y los esfuerzos de reconstrucción. En 1958, la mano de obra óptima era de 61.200 millones de horas, mientras que el stock de mano de obra real era de 109.700 millones de horas. Por otro lado, el capital óptimo fue de 14,66 billones de USD, aproximándose al stock de capital real de 13,74 billones de USD, sugiriendo una alineación entre las inversiones reales y los niveles óptimos del modelo. En este sentido, la convergencia observada a finales de los años 50 y principios de los 60 sugiere una mejora en la eficiencia económica. Las políticas económicas de la época, como el crédito fiscal a la inversión de 1962, estimularon la actividad económica y la demanda de mano de obra, promoviendo una mejor alineación entre los niveles reales de empleo, inversión y los niveles óptimos del modelo. Esta convergencia puede interpretarse como un indicio de que las políticas fiscales y monetarias comenzaron a ser más efectivas en la promoción de una asignación eficiente de los recursos.

Durante los años sesenta, los niveles óptimos de mano de obra y capital continuaron convergiendo con los valores históricos. En 1962, la producción histórica fue de 3,20 billones de USD, mientras que la producción óptima para la FPPF era de 5,53 billones de USD, reflejando una mejor alineación con los niveles óptimos. Esta alineación sugiere que las políticas económicas de la época, incluida la inversión en infraestructura y educación, promovieron un uso más eficiente de los recursos disponibles. Sin embargo, los años setenta estuvieron marcados por importantes turbulencias económicas, como el embargo de petróleo de la OPEP y la revolución iraní. En 1973, la mano de obra óptima para la FPPF fue de 159.900 millones de horas, frente a la mano de obra

real de 150.300 millones de horas, reflejando el impacto de las crisis del petróleo y la inestabilidad económica subsecuente. Similarmente, en 1973, el capital óptimo para la FPPF era de 17,79 billones de USD,

significativamente inferior al stock de capital real de 23,61 billones de USD, destacando los efectos adversos de las crisis energéticas. Las crisis del petróleo aumentaron los costos energéticos y provocaron una inestabilidad económica que afectó negativamente las decisiones de inversión de capital y empleo. Estas fluctuaciones económicas resaltan la vulnerabilidad de la economía a los choques externos y subrayan la importancia de políticas económicas resilientes que puedan mitigar los efectos de tales crisis.

A finales de los años ochenta y noventa, se produjo un periodo de estabilización y crecimiento económico, influido por políticas como la Ley Fiscal de Recuperación Económica de 1981 y la Ley de Reforma Fiscal de 1986. En 1990, la mano de obra óptima fue de 204.300 millones de horas, frente a la mano de obra real de 196.400 millones de horas. El capital óptimo era de 43,30 billones de USD, frente a un stock de capital real de 38,18 billones de USD, sugiriendo que las políticas económicas de la época promovieron la utilización óptima de la mano de obra y la inversión de capital. La convergencia observada durante este período indica que las políticas fiscales y económicas implementadas fueron efectivas para alinear la inversión de capital y el empleo con los niveles óptimos, promoviendo un crecimiento económico más eficiente y sostenible. Esta alineación también sugiere que las reformas fiscales incentivaron la inversión y la utilización eficiente del capital, mejorando la productividad general de la economía. En cuanto a la producción, la producción óptima para la FPPF en 1990 fue de aproximadamente 12,85 billones de USD, frente a la producción real de 10,08 billones de USD, mostrando una mejor alineación con los niveles óptimos. A finales de los 90 y principios de los 2000, la economía experimentó un crecimiento impulsado por los avances tecnológicos y la globalización, aumentando aún más los valores óptimos de producción. Las políticas de liberalización y el auge tecnológico permitieron una mayor eficiencia en la producción, lo que se refleja en la convergencia de los niveles óptimos y reales de producción.

Los primeros años de la década de 2000 y la Gran Recesión tuvieron un impacto significativo en las condiciones del mercado laboral y en la inversión de capital. En 2008, la mano de obra óptima fue de 318.200 millones de horas, en comparación con la mano de obra real de 234.000 millones de horas, evidenciando las perturbaciones económicas causadas por la crisis financiera. Similarmente, el capital óptimo fue de 64,69 billones de USD, frente al stock de capital real de 59,95 billones de USD. La producción óptima para la FPPF en 2008 fue de aproximadamente 20,69 billones de USD, frente a la producción real de 16,81 billones de USD, mostrando una divergencia sustancial entre los niveles de producción óptimo y real debido a la crisis financiera. La Gran Recesión puso de manifiesto las debilidades estructurales de la economía y la necesidad de una regulación financiera más estricta. Las políticas de estímulo y recuperación implementadas durante este período fueron cruciales para mitigar los efectos de la crisis y promover una recuperación económica sostenida.

En el período de recuperación posterior a la recesión, se produjo un realineamiento gradual de los niveles óptimos de mano de obra, capital y producción con los valores históricos. En 2018, la mano

de obra óptima para la FPPF fue de 388.000 millones de horas, coincidiendo estrechamente con el stock de mano de obra real de 254.200 millones de horas. El capital óptimo fue de aproximadamente 68,61 billones de USD, coincidiendo estrechamente con el stock de capital real de 68 billones de USD. La producción óptima para el FPPF en 2018 fue de aproximadamente 19,83 billones de USD, coincidiendo con la producción real de 20,13 billones de USD, indicando la eficacia de las políticas de recuperación como el Quantitative Easing de la Reserva Federal y la Ley de Recuperación y Reinversión de 2009. La convergencia observada en los años posteriores a la Gran Recesión refleja la eficacia de las políticas de estímulo implementadas, así como una mejor gestión de los recursos económicos. La recuperación económica sostenida sugiere que las reformas estructurales y las políticas de estímulo fueron exitosas en restablecer la estabilidad económica y promover un crecimiento sostenible.

El análisis cronológico de los niveles óptimos y los datos históricos para la economía de EE.UU. desde 1950 hasta 2018 proporciona una comprensión profunda de las dinámicas económicas a lo largo del tiempo. Las diferencias entre los valores calculados y los valores históricos revelan ineficiencias, excesos y vulnerabilidades en diferentes periodos, así como la eficacia de diversas políticas económicas para promover la alineación óptima de los recursos. Las fluctuaciones y tendencias en la producción de FPPF, SPF y MSF proporcionan datos valiosos sobre cómo los distintos periodos de crecimiento económico, crisis y recuperación han influido en los niveles de producción necesarios para mantener el desarrollo sostenible y satisfacer las necesidades básicas de subsistencia. Estos resultados destacan la importancia de alinear la producción real con los niveles óptimos para garantizar la eficiencia económica, la sostenibilidad y la resiliencia. Esta comprensión global expone la interacción dinámica entre las políticas económicas, las perturbaciones externas y las decisiones sobre la producción, ofreciendo perspectivas valiosas para la futura planificación y formulación de políticas económicas. La capacidad de ajustar y adaptar las políticas en respuesta a las fluctuaciones económicas y los choques externos es crucial para mantener la estabilidad económica y promover un crecimiento sostenible a largo plazo.

## **Capítulo 6: Discusión y conclusión**

### **6.1. Recapitulando el modelo I3EP**

El análisis teórico de esta investigación se centró en el desarrollo del esquema de Producción Integrada, Eficiente, Ecológica y Equitativa (I3EP). El modelo I3EP introduce y amplía la Frontera de Posibilidades de Producción de Factores (FPPF) incorporando restricciones ecológicas y sociales, creando la Frontera de Posibilidades Sostenibles (SPF) y el Suelo Mínimo de Subsistencia (MSF). Esta ampliación aborda las limitaciones de la función de producción Cobb-Douglas, que supone una disponibilidad ilimitada de insumos y no tiene en cuenta los factores ecológicos y sociales. El modelo I3EP formaliza los niveles óptimos de trabajo, capital y producción teniendo en cuenta la eficiencia, la sostenibilidad ecológica y la equidad social. Este avance teórico ofrece un enfoque más realista y completo de la modelización económica.

Desde un punto de vista teórico, esta investigación supone un avance en este campo al desarrollar el esquema I3EP. Los modelos de producción tradicionales, como la función de producción Cobb-

Douglas, han sido fundamentales en la teoría económica, pero tienen un alcance limitado al suponer una disponibilidad ilimitada de insumos e ignorar las restricciones ecológicas y sociales. El modelo I3EP supera estas limitaciones incorporando la FPPF y ampliándola a la SPF y al MSF. Este enfoque holístico introduce una perspectiva multidimensional que reconoce la interconexión de la eficiencia económica, la sostenibilidad ecológica y la equidad social. De este modo, el esquema I3EP proporciona un modelo más completo y realista que refleja mejor las complejidades de las economías del mundo. Esta innovación teórica ofrece una herramienta sólida a los responsables políticos y los economistas, permitiendo análisis más matizados y una toma de decisiones mejor informada que tenga en cuenta una gama más amplia de factores que afectan a los resultados económicos.

Empíricamente, el modelo I3EP se validó utilizando datos históricos de la economía de Estados Unidos desde 1950 hasta 2018. El análisis empírico consistió en estimar los niveles óptimos de capital y trabajo y comparar estas estimaciones con los datos históricos. Los coeficientes de productividad para el capital ( $v$ ) y el trabajo ( $\eta$ ) mostraron una tendencia general al alza, lo que indica mejoras en la productividad a lo largo del tiempo. También se analizaron el parámetro de fricción ( $\varphi$ ), las fricciones ecológicas ( $\tau$ ) y las fricciones sociales ( $\psi$ ), que revelaron ineficiencias crecientes y desafíos ecológicos y sociales cada vez mayores a lo largo del periodo estudiado. Estos resultados empíricos subrayaron la importancia de abordar las ineficiencias e integrar las consideraciones ecológicas y sociales en la planificación económica.

Adicionalmente, esta tesis valida el marco I3EP utilizando amplios datos históricos de la economía de Estados Unidos que abarcan desde 1950 hasta 2018. Esta validación empírica es crucial, ya que demuestra la aplicabilidad práctica y la solidez del modelo I3EP para capturar la dinámica económica del mundo real. La estimación detallada de los niveles óptimos de capital, trabajo y producción, junto con el análisis de los coeficientes de productividad para el capital ( $v$ ) y el trabajo ( $\eta$ ), proporciona nuevos conocimientos sobre las tendencias de eficiencia dentro de la economía estadounidense. Además, el estudio empírico de los parámetros de fricción ( $\varphi$ ), las fricciones ecológicas ( $\tau$ ) y las fricciones sociales ( $\psi$ ) enfatiza las crecientes complejidades e ineficiencias a lo largo del periodo de estudio. Estas conclusiones empíricas contribuyen al acervo de conocimientos al ofrecer un marco validado que incorpora al análisis económico factores esenciales, aunque a menudo pasados por alto, como las fricciones ecológicas y la equidad social. Este trabajo empírico no sólo respalda los fundamentos teóricos del marco I3EP, sino que también proporciona un sólido conjunto de datos para futuras investigaciones, allanando el camino para más estudios empíricos que puedan perfeccionar y ampliar estos conceptos.

El análisis histórico ofreció una visión completa de la evolución de la economía estadounidense a través de la lente del marco I3EP. Al diseccionar las tendencias y variaciones de los coeficientes de productividad, los parámetros de fricción y los niveles óptimos de capital, trabajo y producción, el análisis demostró la interacción dinámica entre las políticas económicas, los acontecimientos externos y la estructura económica interna. Por ejemplo, los años setenta y principios de los ochenta estuvieron marcados por importantes turbulencias económicas, como el embargo de petróleo de la OPEP y el shock Volcker, que influyeron en los niveles óptimos de trabajo y capital. El análisis histórico demostró la capacidad del marco para reflejar acontecimientos económicos significativos

y proporcionó información sobre los factores que impulsan el crecimiento económico y las mejoras de la productividad.

El análisis histórico añade una dimensión significativa a la comprensión de la historia económica y sus implicaciones para la teoría y la política económicas contemporáneas. Al aplicar el marco I3EP a datos históricos, la tesis revela cómo las políticas económicas, las perturbaciones externas y los cambios estructurales han configurado la economía estadounidense a lo largo de casi siete décadas. Esta perspectiva histórica tiene un valor considerable, ya que demuestra la capacidad del modelo para reflejar y analizar acontecimientos económicos significativos. El análisis histórico muestra cómo estos acontecimientos influyeron en la productividad, la utilización del capital y la mano de obra, y los resultados económicos generales. Esta exhaustiva perspectiva histórica no sólo enriquece el discurso académico sobre historia económica, sino que también ofrece lecciones prácticas para los responsables políticos contemporáneos. Subraya la importancia de tener en cuenta los factores ecológicos y sociales en la planificación económica y pone de relieve las repercusiones a largo plazo de las decisiones políticas sobre la sostenibilidad y la equidad económicas.

En general, las conclusiones de los análisis teóricos, empíricos e históricos respaldan la solidez y aplicabilidad del marco I3EP. La integración de las limitaciones sociales, ecológicas y de eficiencia ofrece un enfoque matizado y realista para comprender y optimizar los resultados económicos. Este análisis exhaustivo subraya el papel fundamental de los ajustes estratégicos para fomentar la resistencia y el crecimiento económicos a largo plazo, destacando el valor del marco I3EP en el análisis económico moderno. Además, más allá de estas contribuciones específicas, la investigación en su conjunto promueve un enfoque interdisciplinario del análisis económico. Al integrar conceptos de la ecología y las consideraciones sociales en la modelización económica, fomenta una comprensión más holística de los sistemas económicos. Esta perspectiva interdisciplinaria es crucial para abordar retos globales contemporáneos como el cambio climático, el agotamiento de los recursos y la desigualdad social. El marco I3EP, con su énfasis en la sostenibilidad y la equidad, se alinea bien con las actuales agendas políticas mundiales centradas en el desarrollo sostenible y el crecimiento integrador.

## 6.2. Implicaciones políticas

Los resultados de esta investigación tienen considerables implicaciones políticas, sobre todo en lo que se refiere a la asignación óptima de recursos y al equilibrio entre crecimiento económico, sostenibilidad ecológica y equidad social. Interpretando las ecuaciones de los niveles óptimos de capital, trabajo y producción, y complementándolas con las conclusiones empíricas e históricas, los responsables políticos pueden extraer ideas valiosas para elaborar políticas económicas eficaces y holísticas.

El esquema I3EP proporciona ecuaciones para determinar los niveles óptimos de capital ( $K^*$ ), trabajo ( $L^*$ ) y producción ( $Y^*$ ). Estos niveles óptimos se calculan incorporando coeficientes de productividad ( $v$  y  $\eta$ ), fricciones generales ( $\varphi$ ), fricciones ecológicas ( $\tau$ ) o fricciones sociales ( $\psi$ ), que reflejan las restricciones del mundo real a las que se enfrenta una economía en diferentes escenarios. Estas ecuaciones indican que la asignación óptima de recursos está influida por la

productividad del capital y del trabajo, así como por las fricciones generales de la economía. En este sentido, los responsables políticos podrían centrarse en mejorar la productividad mediante avances tecnológicos, educación y formación, al tiempo que trabajan para reducir las ineficiencias y fricciones del sistema económico. Por ejemplo, reducir las cargas reglamentarias y los costes de transacción puede mejorar la eficiencia de la utilización del capital, mientras que las inversiones en capital humano pueden mejorar la productividad laboral.

Por otra parte, el nivel óptimo de producción está influido por el equilibrio entre los insumos económicos y las limitaciones impuestas por los factores ecológicos y sociales. Si consideramos las ecuaciones de la FPPF, la SPF o la MSF, nos encontramos en una situación que enfatiza la necesidad de un enfoque equilibrado que tenga en cuenta no sólo la eficiencia económica, sino también la sostenibilidad ecológica y la equidad social. Las políticas destinadas a promover prácticas sostenibles, como las inversiones en energías renovables y las tecnologías respetuosas con el medio ambiente, pueden ayudar a alcanzar niveles óptimos de producción sin comprometer la integridad ecológica. Del mismo modo, las políticas sociales que abordan la desigualdad y mejoran el bienestar social pueden contribuir a alcanzar niveles óptimos de producción que sean socialmente sostenibles.

Además, las conclusiones empíricas e históricas de esta tesis proporcionan un contexto adicional para las implicaciones políticas. Por ejemplo, tomemos el análisis empírico de la economía estadounidense de 1950 a 2018. Como se presenta en el Capítulo 4, los coeficientes de productividad del capital y trabajo han aumentado en general con el tiempo, reflejando los avances tecnológicos y las mejoras del capital humano. Sin embargo, el análisis también revela una tendencia al aumento de las fricciones, así como períodos de ineficiencia significativa, en particular durante las crisis económicas. El primer punto tiene sentido si tenemos en cuenta que la complejidad de la economía mundial ha aumentado sustancialmente desde la década de 1950. En otras palabras, como ocurre con cualquier otro sistema, con más “piezas móviles” cabe esperar más ineficiencia. Aunque existen enfoques limitados para abordar esta realidad de la economía moderna, el segundo punto es más esperanzador, ya que sugiere que las políticas dirigidas a aumentar la productividad y reducir las fricciones pueden tener beneficios sustanciales a largo plazo. Por ejemplo, las políticas que apoyan la innovación, racionalizan la normativa, y reducen los costes de transacción pueden mejorar la eficiencia económica general. Además, el análisis histórico muestra el impacto de importantes acontecimientos económicos, como eventos internacionales, recesiones, y políticas económicas, sobre la productividad y la asignación de recursos. Estos acontecimientos subrayan la importancia de contar con políticas adaptables y resistentes que puedan responder a los choques externos. Por ejemplo, durante los períodos de inestabilidad económica, las políticas que proporcionan apoyo específico a los sectores afectados, promueven la diversificación económica, y refuerzan las redes de seguridad social, pueden ayudar a mitigar los efectos negativos y apoyar la recuperación.

En general, basándose en los análisis teóricos, empíricos e históricos, se proponen las siguientes recomendaciones políticas. En primer lugar, *mejorar la productividad*. Invertir en tecnología e innovación para mejorar la productividad del capital ( $v$ ) y en educación y formación para impulsar la productividad del trabajo ( $\eta$ ). Esto puede lograrse mediante incentivos fiscales a la investigación y el desarrollo, subvenciones a programas educativos y apoyo a iniciativas de desarrollo de la mano

de obra. En segundo lugar, *reducir las fricciones*. Aplicar políticas que reduzcan las ineficiencias del sistema económico, como la simplificación de los procesos normativos, la reducción de los costes de transacción y el fomento de la competencia. Esto puede implicar reformas normativas, medidas anticorrupción y esfuerzos para mejorar la transparencia del mercado. En tercer lugar, *promover la sostenibilidad*. Desarrollar políticas que fomenten prácticas económicas sostenibles, como la inversión en energías renovables, el cumplimiento de la normativa medioambiental y la promoción de la conservación de los recursos. Estas políticas pueden ayudar a reducir las fricciones ecológicas ( $\tau$ ) y garantizar la sostenibilidad ecológica a largo plazo. En cuarto lugar, *abordar las desigualdades sociales*. Aplicar políticas sociales que aborden la desigualdad, mejoren el acceso a la sanidad y la educación y aumenten el bienestar social. Esto puede ayudar a reducir las fricciones sociales ( $\psi$ ) y promover una distribución más equitativa de los beneficios económicos. Por último, en quinto lugar, *mejorar la resiliencia económica*. Desarrollar políticas adaptativas que puedan responder a las perturbaciones y crisis económicas, como la creación de amortiguadores fiscales, la diversificación de la economía y el fortalecimiento de las redes de seguridad social. Estas medidas pueden ayudar a mitigar el impacto de los choques externos y apoyar la estabilidad económica. Integrando estas recomendaciones políticas, los gobiernos y los responsables políticos pueden aprovechar las ideas del modelo I3EP para lograr un desarrollo económico equilibrado y sostenible que tenga en cuenta las limitaciones sociales, ecológicas y de eficiencia. Este enfoque integral puede conducir a economías más resistentes e inclusivas, mejor equipadas para afrontar los retos y oportunidades del futuro.

### 6.3. Limitaciones del estudio

A pesar del análisis exhaustivo y del sólido marco que proporciona el modelo I3EP, es necesario reconocer varias limitaciones. Estas limitaciones se refieren a los supuestos realizados, la disponibilidad de datos y las posibles limitaciones metodológicas que podrían afectar a las conclusiones e interpretaciones de esta investigación.

Uno de los supuestos fundamentales del esquema I3EP, similar a la función de producción Cobb-Douglas, es la sustituibilidad de los factores de producción -capital y trabajo-. Como se mencionó en el Capítulo 2, este supuesto implica que un factor puede sustituirse por otro hasta cierto punto, manteniendo el mismo nivel de producción. Sin embargo, en el mundo real, el grado de sustituibilidad entre capital y trabajo no siempre es constante y puede variar significativamente entre distintos sectores y periodos. Por ejemplo, en industrias muy especializadas, la sustitución entre capital y trabajo puede ser limitada debido a la necesidad de competencias o tecnologías específicas. Este supuesto podría simplificar en exceso las complejidades de los procesos de producción y pasar por alto situaciones en las que la sustitución de factores es limitada. Por lo tanto, aunque el modelo I3EP intenta proporcionar un análisis más matizado incorporando fricciones ecológicas y sociales, la dependencia del supuesto de sustituibilidad sigue siendo una limitación que podría afectar a los resultados empíricos. Para mitigar en cierta medida los efectos de este supuesto, el análisis incorpora el ajuste de la media armónica. Este procedimiento consiste en calcular las relaciones entre los niveles óptimos de capital y trabajo y sus niveles históricos para cada año desde 1950 hasta 2018 y, a continuación, ajustar los niveles óptimos dividiéndolos por la media armónica de estas relaciones. Este método ayuda a reducir el impacto de las desviaciones extremas y proporciona una alineación más equilibrada y realista entre las predicciones del modelo

y los datos históricos. Al basar los niveles óptimos en realidades históricas, el ajuste de la media armónica mejora la precisión y solidez del análisis empírico, garantizando un reflejo más cercano de las condiciones económicas reales durante el periodo de estudio. Este enfoque aborda las limitaciones asociadas a la hipótesis de sustituibilidad de los factores, proporcionando una comprensión más matizada de la utilización de los insumos, al menos hasta cierto punto. El ajuste de la media armónica reduce la influencia de los valores atípicos, alinea las predicciones del modelo con los datos históricos y mejora la solidez del análisis frente a variaciones e incertidumbres. Como resultado, la sección empírica logra una representación más realista de los niveles óptimos de capital y mano de obra, mejorando la validez de las predicciones del marco I3EP y ofreciendo valiosas perspectivas para el análisis económico y la formulación de políticas.

La Frontera de Posibilidades Sostenibles (SPF) y el Piso Mínimo de Subsistencia (MSF) son extensiones críticas del marco I3EP que tienen en cuenta las limitaciones ecológicas y sociales, respectivamente. Sin embargo, la disponibilidad y fiabilidad de los datos para estos componentes plantean importantes retos. Los datos ecológicos, necesarios para calcular el FPS, pueden adolecer de incoherencias y lagunas, sobre todo a lo largo de períodos históricos prolongados. Por ejemplo, es difícil obtener mediciones precisas de la degradación medioambiental, el agotamiento de los recursos y las huellas ecológicas de forma coherente a lo largo de las décadas analizadas en esta tesis. Del mismo modo, los datos sociales necesarios para el MSF, como los indicadores de equidad social, salud pública y niveles de pobreza, suelen estar incompletos o sujetos a cambios en las metodologías de medición. Aunque en este análisis se ha intentado abordar estas limitaciones obteniendo datos de fuentes acreditadas que han calculado estas variables durante un largo periodo de tiempo, cualquier intento de replicar el cálculo empírico del FPS y el FMS debería considerar esto, ya que estas limitaciones de los datos podrían afectar a la precisión y solidez de los resultados, pudiendo dar lugar a estimaciones menos precisas de los niveles óptimos de capital, trabajo y producción.

Además, el análisis histórico realizado en esta tesis se basa en datos a largo plazo desde 1950 hasta 2018. Si bien este extenso periodo ofrece una amplia perspectiva de las tendencias y perturbaciones económicas, también introduce posibles problemas relacionados con la calidad y coherencia de los datos. Por ejemplo, es evidente en las secciones de análisis empírico e histórico que los datos para calcular la CE y el SM no estaban disponibles para la totalidad del periodo analizado. Además, los datos económicos históricos suelen estar sujetos a revisiones, redefiniciones y cambios metodológicos a lo largo del tiempo. Estas incoherencias pueden afectar a la fiabilidad de los resultados empíricos. Por otra parte, el análisis podría no captar plenamente las actividades económicas informales, que pueden ser significativas en determinados periodos y sectores, lo que podría sesgar los resultados.

Otro punto que hay que reconocer es que la calibración y validación del modelo I3EP implica varios supuestos y estimaciones de parámetros, que pueden introducir sesgos. Por ejemplo, la estimación de los coeficientes de productividad del capital y del trabajo ( $v$  y  $\eta$ ) y de los parámetros de fricción ( $\varphi$ ), ( $\tau$ ) y ( $\psi$ ) requiere el uso de formas funcionales y técnicas empíricas específicas. Estas estimaciones están inherentemente sujetas a errores de especificación del modelo y a la elección de los métodos de estimación. Cualquier error de especificación o sesgo en el proceso de estimación podría afectar a la validez general del modelo y sus predicciones. En este sentido, la incorporación

de enfoques alternativos para obtener estos parámetros, además del presentado en este estudio, se recomienda para futuras investigaciones.

La sección empírica de la tesis considera los cambios en los coeficientes de productividad, capital y trabajo a lo largo del periodo de estudio. Sin embargo, es posible que no tenga plenamente en cuenta los rápidos cambios tecnológicos y los cambios dinámicos de la economía, sobre todo en la última parte del periodo estudiado. Los avances tecnológicos, la globalización y los cambios estructurales de la economía pueden afectar significativamente a la productividad y a los patrones de asignación de recursos. Aunque el modelo I3EP intenta incorporar estos factores a través del análisis de la productividad y las fricciones, es posible que el ritmo y el impacto de los cambios tecnológicos y estructurales no queden plenamente reflejados.

Por último, y en esta misma línea de pensamiento, la tesis reconoce la influencia de los grandes acontecimientos económicos y los cambios de política en los resultados empíricos. Sin embargo, las complejas interacciones entre las medidas de política, las perturbaciones externas y las respuestas económicas son difíciles de modelizar de forma exhaustiva. Por ejemplo, el impacto de las políticas monetarias y fiscales durante distintos periodos puede tener efectos variables sobre la productividad y la asignación de recursos, influidos por factores contextuales como la estabilidad política, las condiciones económicas mundiales y las expectativas del mercado. Estos matices contextuales son difíciles de cuantificar con precisión dentro del modelo.

En conclusión, aunque el esquema I3EP supone un avance significativo con respecto a los modelos tradicionales al incorporar restricciones ecológicas y sociales, hay que reconocer varias limitaciones. El supuesto de la sustituibilidad de los factores, los problemas de disponibilidad de datos, las limitaciones de los datos históricos, los posibles sesgos en la calibración de los modelos y las dificultades para captar los cambios tecnológicos dinámicos y las repercusiones de las políticas contribuyen a la complejidad de modelizar con precisión las condiciones económicas del mundo real. Reconocer estas limitaciones es crucial para interpretar los resultados y orientar futuras investigaciones que aborden estos retos y sigan perfeccionando el modelo I3EP.

#### 6.4. Recomendaciones para futuras investigaciones

A partir de los resultados de esta tesis, pueden seguirse varias vías de investigación para profundizar y ampliar los conocimientos proporcionados por el esquema I3EP. En primer lugar, explorar el papel de las fricciones e incorporar variables estocásticas para modelizar shocks inesperados podría mejorar significativamente la solidez de las predicciones económicas. Al introducir elementos estocásticos, futuros estudios podrán captar mejor el impacto de acontecimientos imprevistos, como crisis financieras o catástrofes naturales, sobre la economía. Este enfoque proporcionaría una comprensión más completa de cómo las fricciones afectan a la estabilidad y resistencia económicas en condiciones variables.

El desarrollo de una versión dinámica del modelo I3EP que tenga en cuenta el paso del tiempo también sería una valiosa ampliación. Un modelo dinámico podría incorporar variables dependientes del tiempo y circuitos de retroalimentación, reflejando cómo evolucionan e interactúan las condiciones económicas a lo largo del tiempo. Esto permitiría una simulación más

realista del crecimiento y el desarrollo económicos, teniendo en cuenta la acumulación gradual de capital y mano de obra, los avances tecnológicos y los cambios políticos. Además, el análisis de la relación teórica entre las diferencias en los niveles óptimos de capital, trabajo y producción entre la FPPF, la SPF y la MSF con los conceptos de externalidades positivas y negativas podría ofrecer nuevas perspectivas sobre cómo estas externalidades influyen en la asignación óptima de recursos y en la eficiencia económica.

Una mayor exploración teórica de la relación entre isocuantas, isocostes, funciones de producción y FPPF, SPF y MSF podría proporcionar una comprensión más profunda de los procesos de producción bajo diversas restricciones. Investigar cómo cambian las formas y posiciones de las isocuantas y los isocostes en respuesta a distintos niveles de eficiencia, sostenibilidad ecológica y equidad social podría revelar nuevas dimensiones de la optimización de recursos. Además, un análisis detallado de los coeficientes de productividad de los factores, en particular de sus tasas de variación anual en relación con acontecimientos económicos significativos, ofrecería valiosas perspectivas históricas y pondría de relieve la sensibilidad de la productividad a las perturbaciones externas y a las intervenciones políticas. Adicionalmente, la aplicación del modelo I3EP a varias economías mayores y menores de distintos países pondría a prueba su aplicabilidad y solidez en diversos contextos económicos. Este análisis comparativo podría revelar características regionales únicas y proporcionar recomendaciones políticas a medida.

Por último, la aplicación del modelo I3EP a funciones de producción alternativas, como los modelos lineales, de Leontief, de elasticidad de sustitución constante (CES), Translog y de crecimiento endógeno, presenta una vía prometedora para futuras investigaciones. Cada una de estas funciones de producción ofrece perspectivas únicas que pueden enriquecer el análisis proporcionado por el marco I3EP. La alta sustituibilidad de la función de producción lineal puede demostrar las repercusiones en la eficiencia, mientras que las proporciones fijas de insumos de la función de Leontief pueden demostrar los efectos en estructuras de insumos rígidas. La elasticidad de sustitución variable de la función CES permitiría comprender cómo afectan los distintos grados de sustituibilidad a los niveles óptimos de capital, trabajo y producción. Adicionalmente, la flexibilidad de la función Translog para captar complejas posibilidades de sustitución y efectos de escala puede revelar intrincadas relaciones en diversas condiciones económicas. Por último, la integración del esquema I3EP con modelos de crecimiento endógeno puede proporcionar una visión holística de cómo la tecnología, la innovación y el conocimiento interactúan con la eficiencia y las limitaciones ecológicas y sociales para impulsar el crecimiento a largo plazo. Explorar estas funciones de producción alternativas dentro del modelo I3EP validaría su versatilidad y profundizaría nuestra comprensión de cómo responden los distintos modelos económicos a las diversas restricciones.

## 6.5. Observaciones finales

Esta investigación representa un recorrido exhaustivo por el desarrollo y la aplicación del modelo I3EP, abordando las limitaciones críticas de la función de producción tradicional Cobb-Douglas mediante la incorporación de la eficiencia, la sostenibilidad ecológica y la equidad social. La investigación comenzó con una exploración exhaustiva de los fundamentos teóricos, que condujo a la creación de un modelo sólido que integra la Frontera de Posibilidades de Producción de

Factores (FPPF), la Frontera de Posibilidades Sostenibles (SPF) y el Suelo Mínimo de Subsistencia (MSF). Este enfoque se ha probado a fondo mediante análisis empíricos, utilizando datos históricos de la economía estadounidense desde 1950 hasta 2018, proporcionando valiosas perspectivas sobre la dinámica de los niveles óptimos de capital, trabajo y producción en condiciones económicas variables.

A lo largo de esta investigación, los resultados han recalcado la importancia de tener en cuenta las limitaciones del mundo real en la modelización económica. El esquema I3EP no sólo mejora nuestra comprensión de la productividad y la asignación de recursos, sino que también ofrece una perspectiva más comprensiva que se ajusta a retos contemporáneos como la sostenibilidad y la equidad social. Los análisis empíricos e históricos han validado la capacidad de respuesta del modelo a los acontecimientos económicos, demostrando su relevancia práctica y su potencial para fundamentar las decisiones políticas. Además, esta investigación ha abierto nuevas vías de estudio, sugiriendo formas de perfeccionar y ampliar el esquema I3EP, explorar su aplicación en diferentes economías y funciones de producción e investigar sus implicaciones teóricas. Reflexionando sobre este recorrido, resulta evidente que la integración de consideraciones de eficiencia, ecológicas y sociales en los modelos económicos es esencial para desarrollar enfoques integrales y realistas del crecimiento y el desarrollo económicos.

El modelo I3EP es potencialmente el primero de muchos futuros avances clave en la modelización económica que aborda de una forma amigable las limitaciones críticas de la función de producción tradicional Cobb-Douglas. En lugar de tratar de sustituir este modelo fundacional, el esquema I3EP lo complementa incorporando limitaciones del mundo real como la eficiencia, la sostenibilidad ecológica y la equidad social. Este enfoque holístico enriquece nuestra comprensión de la dinámica económica, ofreciendo un análisis más realista y aplicable de los niveles óptimos de capital, trabajo y producción. La validación empírica del modelo, a través de datos históricos de la economía estadounidense que abarcan desde 1950 hasta 2018, ha demostrado su solidez y relevancia práctica. La capacidad del modelo I3EP para captar los matices de los acontecimientos económicos y proporcionar ideas procesables subraya su potencial para informar las decisiones políticas y fomentar el crecimiento sostenible. Reflexionando sobre este análisis, queda claro que la integración de la eficiencia y la sostenibilidad en los modelos económicos no es un mero ejercicio académico, sino una necesidad vital para abordar los acuciantes retos de nuestro tiempo. Creo que este trabajo ha sentado las bases para futuras exploraciones y perfeccionamientos, con la esperanza de que inspire nuevas innovaciones y contribuya a un futuro económico más equitativo y sostenible.

## Bibliografía

- Acemoglu, Daron. "Modeling Inefficient Institutions." *NBER Working Papers*: 11940 (2006).  
<http://www.nber.org/papers/w11940>.
- Andrews, Richard N.L. *Managing the Environment, Managing Ourselves: A History of American Environmental Policy*. New Haven: Yale University Press, 2006.
- Arrow, Kenneth J. "The Economic Implications of Learning by Doing." *The Review of Economic Studies* 29, no. 3 (1962): 155-173. <https://doi.org/10.2307/2295952>.
- Arrow, Kenneth J., Hollis B. Chenery, Bagicha S. Minhas, y Robert M. Solow. "Capital-Labor Substitution and Economic Efficiency." *The Review of Economics and Statistics* 43, no. 3 (1961): 225-250. <https://doi.org/10.2307/1927286>.
- Ayres, Robert U., y Benjamin Warr. *The Economic Growth Engine: How Energy and Work Drive Material Prosperity*. Edward Elgar Publishing, 2009. ISBN: 9781848441828.
- Barro, Robert J. "Economic Growth in a Cross Section of Countries." *The Quarterly Journal of Economics* 106, no. 2 (1991): 407-443. <https://doi.org/10.2307/2937943>.
- . *Determinants of Economic Growth: A Cross-Country Empirical Study*. MIT Press, 1998.  
<https://mitpress.mit.edu/9780262522540/>.
- Bartlett, Bruce. *Reaganomics: Supply-Side Economics in Action*. Arlington House, 1981.
- Baumol, William J. *The Free-Market Innovation Machine: Analyzing the Growth Miracle of Capitalism*. Princeton University Press, 2002.
- Becker, Gary S. *The Economics of Discrimination*. University of Chicago Press, 1957.
- Berkowitz, Edward D. *Disabled Policy: America's Programs for the Handicapped*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- . *America's Welfare State: From Roosevelt to Reagan*. Johns Hopkins University Press, 1991.
- Bernanke, Ben S. *Essays on the Great Depression*. Princeton: Princeton University Press, 2000.
- . *The Courage to Act: A Memoir of a Crisis and Its Aftermath*. New York: W.W. Norton & Company, 2015.
- Blanchard, Olivier, and David R. Johnson. *Macroeconomics*. Pearson, 2013.
- Blank, Rebecca M. *It Takes a Nation: A New Agenda for Fighting Poverty*. Princeton: Princeton University Press, 1997.

- Blinder, Alan S. *After the Music Stopped: The Financial Crisis, the Response, and the Work Ahead*. New York: Penguin Press, 2013.
- Blinder, Alan S. *Economic Policy and the Great Stagflation*. New York: Academic Press, 1982.
- . *Hard Heads, Soft Hearts: Tough-Minded Economics for a Just Society*. Cambridge, Mass.: Perseus Books, 1987.
- Chirinko, Robert S. “ $\sigma$ : The Long and Short of It.” *Journal of Macroeconomics* 30, no. 2 (2008): 671-686. <https://doi.org/10.1016/j.jmacro.2007.10.010>.
- Christensen, Laurits R., Dale W. Jorgenson, y Lawrence J. Lau. “Transcendental Logarithmic Production Frontiers.” *The Review of Economics and Statistics* 55, no. 1 (1973): 28-45. <https://doi.org/10.2307/1927992>.
- Cleveland, William L., y Martin Bunton. *A History of the Modern Middle East*. Philadelphia: Westview Press, 2016.
- Cobb, Charles W., y Paul H. Douglas. “A Theory of Production.” *The American Economic Review* 18, no. 1 (1928): 139-165. <https://www.jstor.org/stable/1811556>.
- Costanza, Robert, Ralph d'Arge, Rudolf de Groot, Stephen Farber, Monica Grasso, Bruce Hannon, Karin Limburg, et al. “The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital.” *Nature* 387, no. 6630 (1997): 253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>.
- Cutler, David M. *The Quality Cure: How Focusing on Health Care Quality Can Save Your Life and Lower Spending Too*. Berkeley: University of California Press, 2014.
- Daly, Herman E. *Steady-State Economics*. Island Press, 1991. ISBN: 9781559630719.
- Dasgupta, Partha, y Geoffrey Heal. *Economic Theory and Exhaustible Resources*. Cambridge University Press, 1979. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511628375>.
- Dasgupta, Partha. *The Control of Resources*. Harvard University Press, 1982. ISBN: 9780631129356.
- De Grauwe, Paul. *Economics of Monetary Union*. Oxford: Oxford University Press, 2012.
- Downie, David Leonard. *The Global Environment: Institutions, Law, and Policy*. Washington, D.C.: CQ Press, 2011.
- Eichengreen, Barry. *Exorbitant Privilege: The Rise and Fall of the Dollar and the Future of the International Monetary System*. New York: Oxford University Press, 2011.
- . *Hall of Mirrors: The Great Depression, The Great Recession, and the Uses-and Misuses-of History*. New York: Oxford University Press, 2015.

- Eisner, Robert. *The Misunderstood Economy: What Counts and How to Count It*. Boston: Harvard Business School Press, 1994.
- Ekelund, Robert B., y Robert D. Tollison. *Economics: Private Markets and Public Choice*. Addison-Wesley, 1994.
- Epstein, Joshua M., y Robert Axtell. *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. MIT Press, 1996. <https://mitpress.mit.edu/9780262550253/>.
- Feldstein, Martin S. *Economic and Financial Crises in Emerging Market Economies*. Chicago: University of Chicago Press, 2003.
- . *The Effects of Taxation on Capital Accumulation*. Chicago: University of Chicago Press, 1987.
- Footprint Data Foundation, York University Ecological Footprint Initiative, y Global Footprint Network. “National Footprint and Biocapacity Accounts, 2023 Edition.” <https://data.footprintnetwork.org>. Descargado el 19 de Abril de 2024.
- Frankel, Jeffrey A. *Regional Trading Blocs in the World Economic System*. Washington, D.C.: Institute for International Economics, 1997.
- Friedman, Milton, y Anna J. Schwartz. *A Monetary History of the United States, 1867–1960*. Princeton University Press, 1963.
- Gaddis, John Lewis. *The Cold War: A New History*. New York: Penguin Press, 2005.
- Gale, William, Hilary Gelfond, Aaron Krupkin, Mark J. Mazur, y Eric Toder. “Effects of the Tax Cuts and Jobs Act: A Preliminary Analysis.” *Tax Policy Center Working Papers* (2018).
- Gilbert, Neil. “US Welfare Reform: Rewriting the Social Contract.” *Journal of Social Policy* 38, no. 3 (2009): 383–99. <https://doi.org/10.1017/S0047279409003043>.
- Goldin, Claudia, y Lawrence F. Katz. *The Race between Education and Technology*. Cambridge: Harvard University Press, 2008.
- Gordon, Robert J. *The Rise and Fall of American Growth: The U.S. Standard of Living since the Civil War*. Princeton University Press, 2016.
- Gruber, Jonathan. *Health Care Reform: What It Is, Why It’s Necessary, How It Works*. New York: Hill and Wang, 2011.
- Hacker, Andrew. *Money: Who Has How Much and Why*. New York: Scribner, 1997.
- Hays, Samuel P. *Beauty, Health, and Permanence: Environmental Politics in the United States, 1955-1985*. Cambridge University Press, 1987.

- Higgs, Robert. *Crisis and Leviathan: Critical Episodes in the Growth of American Government*. Oxford University Press, 1987.
- Hirsh, Richard F. *Technology and Transformation in the American Electric Utility Industry*. Cambridge University Press, 1989.
- Jevons, William Stanley. *The Theory of Political Economy*. Macmillan, 1871.  
<https://doi.org/10.1057/9781137374158>.
- Johnson, Paul. *Modern Times: The World from the Twenties to the Nineties*. Harper Perennial, 1991.
- Keynes, John Maynard. *The General Theory of Employment, Interest, and Money*. Macmillan, 1936. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-70344-2>.
- Kraft, Michael E. *Environmental Policy and Politics*. Pearson Longman, 2007.
- Krugman, Paul. *The Return of Depression Economics and the Crisis of 2008*. New York: W.W. Norton & Company, 2009.
- Krugman, Paul, y Robin Wells. *Macroeconomics*. 5th ed. New York: Worth Publishers, 2018.
- Leontief, Wassily. *The Structure of American Economy, 1919-1939: An Empirical Application of Equilibrium Analysis*. Oxford University Press, 1941.
- Leuchtenburg, William E. *The FDR Years: On Roosevelt and His Legacy*. Columbia University Press, 1995.
- Liroff, Richard A. *A National Policy for the Environment: NEPA and Its Aftermath*. Bloomington: Indiana University Press, 1976.
- Lucas, Robert E. "Econometric Policy Evaluation: A Critique." *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy* 1 (1976): 19-46. [https://doi.org/10.1016/S0167-2231\(76\)80003-6](https://doi.org/10.1016/S0167-2231(76)80003-6).
- . "On the Mechanics of Economic Development." *Journal of Monetary Economics* 22, no. 1 (1988): 3-42. [https://doi.org/10.1016/0304-3932\(88\)90168-7](https://doi.org/10.1016/0304-3932(88)90168-7).
- Maddison, Angus. *Dynamic Forces in Capitalist Development: A Long-Run Comparative View*. Oxford University Press, 1991.
- Mankiw, N. Gregory. *Principles of Economics*. Cengage Learning, 2012.
- Marmor, Theodore R. *The Politics of Medicare*. Aldine de Gruyter, 2000.
- McMahon, Robert J. *The Cold War: A Very Short Introduction*. Oxford: Oxford University Press, 2003.

- Mead, Lawrence M., ed. *The New Paternalism: Supervisory Approaches to Poverty*. Washington, D.C.: Brookings Institution Press, 1997.
- Meltzer, Allan H. *A History of the Federal Reserve, Volume 2*. Chicago: University of Chicago Press, 2014.
- Menger, Carl. *Principles of Economics*. Ludwig von Mises Institute, 2007. Publicado originalmente en 1871. <https://mises.org/library/book/principles-economics>.
- Moffitt, Robert. *Means-Tested Transfer Programs in the United States*. Chicago: University of Chicago Press, 2003.
- Moore, Geoffrey H. *Business Cycle Indicators*. Princeton University Press, 1961.
- Murnane, Richard J., y John B. Willett. *Methods Matter: Improving Causal Inference in Educational and Social Science Research*. New York: Oxford University Press, 2011.
- Nash, John F. "Equilibrium Points in N-Person Games." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 36, no. 1 (1950): 48-49. <https://doi.org/10.1073/pnas.36.1.48>.
- Nordhaus, William D. "Lethal Model 2: The Limits to Growth Revisited." *Brookings Papers on Economic Activity* 1992, no. 2 (1992): 1-59. <https://doi.org/10.2307/2534581>.
- Oates, Wallace E., ed. *The RFF Reader in Environmental and Resource Policy*. New York: Routledge, 2006.
- Olson, Mancur. *The Rise and Decline of Nations: Economic Growth, Stagflation, and Social Rigidities*. Yale University Press, 1988.
- Paulson, Henry M. *On the Brink: Inside the Race to Stop the Collapse of the Global Financial System*. New York: Business Plus, 2010.
- Percival, Robert V. *Environmental Regulation: Law, Science, and Policy*. Gaithersburg: Aspen Law & Business, 2000.
- Piketty, Thomas. *Capital in the Twenty-First Century*. Traducido por Arthur Goldhammer. Cambridge: Harvard University Press, 2014.
- Portney, Kent. *Taking Sustainable Cities Seriously: Economic Development, the Environment, and Quality of Life in American Cities*. Cambridge: MIT Press, 2002.
- Quadagno, Jill. *One Nation, Uninsured: Why the U.S. Has No National Health Insurance*. Oxford University Press, 2005.
- Revesz, Richard. *Foundations of Environmental Law and Policy*. New York: Oxford University Press, 1997.

- Ricardo, David. *On the Principles of Political Economy and Taxation*. John Murray, 1817. <https://www.gutenberg.org/cache/epub/33310/pg33310-images.html>.
- Rimsza, Mary E., Richard J. Butler, y William G. Johnson. "Impact of Medicaid Disenrollment on Health Care Use and Cost." *Pediatrics* 119, no. 5 (May 1, 2007): e1026–32. <https://doi.org/10.1542/peds.2006-2747>.
- Rivlin, Alice M. *Reviving the American Dream: The Economy, the States & the Federal Government*. Washington, D.C.: Brookings Institution Press, 1992.
- Rodrik, Dani. *Has Globalization Gone Too Far?* Washington, D.C.: Institute for International Economics, 1997.
- Romer, Christina D., y Jared Bernstein. "The Job Impact of the American Recovery and Reinvestment Plan." *Washington, DC: Council of Economic Advisers*, 2009.
- Romer, Paul M. "Increasing Returns and Long-Run Growth." *Journal of Political Economy* 94, no. 5 (1986): 1002-1037. <https://doi.org/10.1086/261420>.
- Rosen, Harvey S. *Public Finance*. New York: McGraw-Hill Education, 2014.
- Roubini, Nouriel, y Stephen Mihm. *Crisis Economics: A Crash Course in the Future of Finance*. New York: Penguin Press, 2010.
- Sachs, Jeffrey. *The End of Poverty: Economic Possibilities for Our Time*. New York: Penguin Press, 2005.
- Samuelson, Paul A., y William D. Nordhaus. *Economics*. McGraw-Hill, 2001.
- Shiller, Robert J. *The Subprime Solution: How Today's Global Financial Crisis Happened, and What to Do about It*. Princeton: Princeton University Press, 2008.
- Slemrod, Joel. *Do Taxes Matter?: The Impact of the Tax Reform Act of 1986*. Cambridge: MIT Press, 1990.
- Smith, Adam. *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*. W. Strahan and T. Cadell, 1776. <https://www.gutenberg.org/cache/epub/3300/pg3300-images.html>.
- Solow, Robert M. "A Contribution to the Theory of Economic Growth." *The Quarterly Journal of Economics* 70, no. 1 (1956): 65-94. <https://doi.org/10.2307/1884513>.
- Sorkin, Andrew Ross. *Too Big to Fail: The Inside Story of How Wall Street and Washington Fought to Save the Financial System-and Themselves*. New York: Viking, 2010.
- Stein, Herbert. *The Fiscal Revolution in America: Policy in Pursuit of Reality*. Washington, D.C.: AEI Press, 2011.

- . *Presidential Economics: The Making of Economic Policy from Roosevelt to Reagan and Beyond*. Simon & Schuster, 1988.
- Steinberg, Ted. *Down to Earth: Nature's Role in American History*. Oxford: Oxford University Press, 2002.
- Stern, Nicholas. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.
- . *Why Are We Waiting? The Logic, Urgency, and Promise of Tackling Climate Change*. Cambridge: MIT Press, 2015.
- Stiglitz, Joseph E. *Freefall: America, Free Markets, and the Sinking of the World Economy*. New York: W.W. Norton & Company, 2010.
- . *Globalization and Its Discontents*. New York: W.W. Norton & Company, 2002.
- . *People, Power, and Profits: Progressive Capitalism for an Age of Discontent*. New York: W.W. Norton & Company, 2019.
- Stone, Pamela. *Opting Out?: Why Women Really Quit Careers and Head Home*. Berkeley: University of California Press, 2007.
- Taylor, John B. *Monetary Policy Rules*. Chicago: University of Chicago Press, 1999.
- Taylor, John B., y Akila Weerapana. *Principles of Macroeconomics*. 6th ed. Mason: Cengage Learning, 2010.
- Tobin, James. *The New Economics One Decade Older*. Princeton University Press, 1974.
- U.S. Bureau of Economic Analysis. “Hours Worked by Full-Time and Part-Time Employees [B4701C0A222NBEA].” Recuperado de FRED, Federal Reserve Bank of St. Louis. <https://fred.stlouisfed.org/series/B4701C0A222NBEA>. Descargado el 20 de Abril de 2024.
- University of Groningen and University of California, Davis. “Capital Stock at Constant National Prices for United States [RKNANPUSA666NRUG].” Recuperado de FRED, Federal Reserve Bank of St. Louis. <https://fred.stlouisfed.org/series/RKNANPUSA666NRUG>. Descargado el 20 de Abril de 2024.
- . “Real GDP at Constant National Prices for United States [RGDPNAUSA666NRUG].” Recuperado de FRED, Federal Reserve Bank of St. Louis. <https://fred.stlouisfed.org/series/RGDPNAUSA666NRUG>. Descargado el 20 de Abril de 2024.
- Varian, Hal R. “Big Data: New Tricks for Econometrics.” *Journal of Economic Perspectives* 28, no. 2 (2014): 3-28. <https://doi.org/10.1257/jep.28.2.3>.

- Volcker, Paul, y Toyoo Gyohten. *Changing Fortunes: The World's Money and the Threat to American Leadership*. New York: Times Books, 1992.
- Vollrath, Dietrich. "ONLINE APPENDIX: The Elasticity of Aggregate Output with Respect to Capital and Labor." *American Economic Journal: Macroeconomics* (forthcoming). <https://www.aeaweb.org/content/file?id=19918>.
- Walras, Léon. *Elements of Pure Economics*. Routledge, 1954. Publicado originalmente en 1874. ISBN: 9780415607315.
- Williamson, Oliver E. "The Economics of Organization: The Transaction Cost Approach." *American Journal of Sociology* 87, no. 3 (1981): 548-577. <https://doi.org/10.1086/227496>.
- World Bank. "Poverty and Inequality Platform, Gini Index - United States [SI.POV.GINI]." Recuperado de <https://data.worldbank.org/indicator/SI.POV.GINI?locations=US>. Descargado el 20 de Abril de 2024.
- . "Poverty and Inequality Platform, Poverty Headcount Ratio at \$6.85 a Day (2017 PPP) (% of Population) - United States [SI.POV.UMIC]." Recuperado de <https://data.worldbank.org/indicator/SI.POV.UMIC?locations=US>. Descargado el 20 de Abril de 2024.
- Yergin, Daniel. *The Prize: The Epic Quest for Oil, Money, and Power*. New York: Free Press, 2011.
- Zigler, Edward, y Susan Muenchow. *Head Start: The Inside Story of America's Most Successful Educational Experiment*. Basic Books, 1992.

## Anexo 1: Tabla Completa – Series temporales y cálculos

observatio n_date	Y	K	L	CPrCoRA W	LPrCoRA W	CPrCoMe an	LPrCoMe an	CPrCoSt. D.	LPrCoSt. D.	StandRati oCPrCo	StandRati oLPrCo	v	η
1950	2466595	10563268	100064	0.23	24.65	0.26	49.67	0.017	16.58	-1.72	-1.51	0.15	0.18
1951	2665368	10898386	108525	0.24	24.56	0.26	49.67	0.017	16.58	-1.06	-1.51	0.26	0.18
1952	2773903	11258935	110757	0.25	25.04	0.26	49.67	0.017	16.58	-0.95	-1.49	0.28	0.18
1953	2904122	11667803	112184	0.25	25.89	0.26	49.67	0.017	16.58	-0.80	-1.43	0.31	0.19
1954	2887745	12058041	107712	0.24	26.81	0.26	49.67	0.017	16.58	-1.36	-1.38	0.20	0.20
1955	3093408	12496091	111238	0.25	27.81	0.26	49.67	0.017	16.58	-0.88	-1.32	0.29	0.21
1956	3159365	12930121	113637	0.24	27.80	0.26	49.67	0.017	16.58	-1.07	-1.32	0.26	0.21
1957	3225886	13353822	113304	0.24	28.47	0.26	49.67	0.017	16.58	-1.24	-1.28	0.22	0.22
1958	3202169	13737182	109709	0.23	29.19	0.26	49.67	0.017	16.58	-1.75	-1.24	0.15	0.23
1959	3423191	14221670	113164	0.24	30.25	0.26	49.67	0.017	16.58	-1.29	-1.17	0.22	0.24
1960	3510945	14693055	114721	0.24	30.60	0.26	49.67	0.017	16.58	-1.39	-1.15	0.20	0.24
1961	3600619	15185855	114607	0.24	31.42	0.26	49.67	0.017	16.58	-1.51	-1.10	0.18	0.25
1962	3820850	15739644	118097	0.24	32.35	0.26	49.67	0.017	16.58	-1.17	-1.04	0.24	0.26
1963	3987210	16340958	120093	0.24	33.20	0.26	49.67	0.017	16.58	-1.09	-0.99	0.25	0.27
1964	4217155	17002594	122889	0.25	34.32	0.26	49.67	0.017	16.58	-0.85	-0.93	0.30	0.28
1965	4491258	17730630	127604	0.25	35.20	0.26	49.67	0.017	16.58	-0.53	-0.87	0.37	0.29
1966	4787385	18508236	133972	0.26	35.73	0.26	49.67	0.017	16.58	-0.21	-0.84	0.45	0.30
1967	4918734	19239902	136172	0.26	36.12	0.26	49.67	0.017	16.58	-0.39	-0.82	0.40	0.31
1968	5160198	19990580	139143	0.26	37.09	0.26	49.67	0.017	16.58	-0.24	-0.76	0.44	0.32
1969	5322266	20734748	143024	0.26	37.21	0.26	49.67	0.017	16.58	-0.33	-0.75	0.42	0.32
1970	5332995	21379038	140823	0.25	37.87	0.26	49.67	0.017	16.58	-0.76	-0.71	0.32	0.33
1971	5508630	22033236	140043	0.25	39.34	0.26	49.67	0.017	16.58	-0.73	-0.62	0.33	0.35
1972	5798323	22780132	144127	0.25	40.23	0.26	49.67	0.017	16.58	-0.46	-0.57	0.39	0.36
1973	6125680	23606602	150314	0.26	40.75	0.26	49.67	0.017	16.58	-0.16	-0.54	0.46	0.37
1974	6092568	24310780	150547	0.25	40.47	0.26	49.67	0.017	16.58	-0.69	-0.55	0.33	0.36
1975	6080050	24845794	146463	0.24	41.51	0.26	49.67	0.017	16.58	-1.05	-0.49	0.26	0.38
1976	6407651	25479508	150687	0.25	42.52	0.26	49.67	0.017	16.58	-0.64	-0.43	0.34	0.39
1977	6703952	26253260	155780	0.26	43.03	0.26	49.67	0.017	16.58	-0.41	-0.40	0.40	0.40
1978	7075036	27174884	162941	0.26	43.42	0.26	49.67	0.017	16.58	-0.11	-0.38	0.47	0.41
1979	7299041	28144202	167633	0.26	43.54	0.26	49.67	0.017	16.58	-0.17	-0.37	0.46	0.41
1980	7280301	28952150	166633	0.25	43.69	0.26	49.67	0.017	16.58	-0.64	-0.36	0.34	0.41
1981	7465055	29738288	167767	0.25	44.50	0.26	49.67	0.017	16.58	-0.67	-0.31	0.34	0.42
1982	7330469	30368384	163779	0.24	44.76	0.26	49.67	0.017	16.58	-1.25	-0.30	0.22	0.43
1983	7666493	31093054	166077	0.25	46.16	0.26	49.67	0.017	16.58	-0.94	-0.21	0.28	0.45
1984	8221288	32068518	174211	0.26	47.19	0.26	49.67	0.017	16.58	-0.35	-0.15	0.41	0.46
1985	8564087	33127016	177608	0.26	48.22	0.26	49.67	0.017	16.58	-0.22	-0.09	0.45	0.48
1986	8860631	34181992	179575	0.26	49.34	0.26	49.67	0.017	16.58	-0.18	-0.02	0.46	0.50
1987	9167170	35208604	184787	0.26	49.61	0.26	49.67	0.017	16.58	-0.11	0.00	0.47	0.50
1988	9550089	36224176	189670	0.26	50.35	0.26	49.67	0.017	16.58	0.09	0.04	0.52	0.51
1989	9900830	37242084	194925	0.27	50.79	0.26	49.67	0.017	16.58	0.22	0.07	0.56	0.52
1990	10087555	38181148	196442	0.26	51.35	0.26	49.67	0.017	16.58	0.12	0.10	0.53	0.53
1991	10076635	38943580	192286	0.26	52.40	0.26	49.67	0.017	16.58	-0.21	0.16	0.45	0.54
1992	10431579	39749632	193316	0.26	53.96	0.26	49.67	0.017	16.58	0.02	0.26	0.50	0.56
1993	10718744	40619356	196699	0.26	54.49	0.26	49.67	0.017	16.58	0.10	0.29	0.53	0.57
1994	11150584	41576888	202067	0.27	55.18	0.26	49.67	0.017	16.58	0.36	0.33	0.59	0.58
1995	11449898	42589128	207463	0.27	55.19	0.26	49.67	0.017	16.58	0.40	0.33	0.60	0.58
1996	11881846	43715496	210161	0.27	56.54	0.26	49.67	0.017	16.58	0.58	0.41	0.64	0.60
1997	12410257	44934860	216596	0.28	57.30	0.26	49.67	0.017	16.58	0.84	0.46	0.70	0.61
1998	12966412	46303760	222346	0.28	58.32	0.26	49.67	0.017	16.58	1.07	0.52	0.75	0.63
1999	13582736	47787892	226894	0.28	59.86	0.26	49.67	0.017	16.58	1.33	0.61	0.79	0.65
2000	14143361	49329540	230609	0.29	61.33	0.26	49.67	0.017	16.58	1.48	0.70	0.81	0.67
2001	14284560	50697112	227725	0.28	62.73	0.26	49.67	0.017	16.58	1.18	0.79	0.76	0.69
2002	14533353	51889248	225643	0.28	64.41	0.26	49.67	0.017	16.58	1.08	0.89	0.75	0.71
2003	14949183	53148096	224449	0.28	66.60	0.26	49.67	0.017	16.58	1.15	1.02	0.76	0.74
2004	15517086	54536764	227128	0.28	68.32	0.26	49.67	0.017	16.58	1.34	1.12	0.79	0.75
2005	16062235	56048848	230400	0.29	69.71	0.26	49.67	0.017	16.58	1.47	1.21	0.81	0.77
2006	16520807	57539832	234732	0.29	70.38	0.26	49.67	0.017	16.58	1.50	1.25	0.82	0.78
2007	16830766	58882184	236610	0.29	71.13	0.26	49.67	0.017	16.58	1.42	1.29	0.81	0.78
2008	16807780	59951996	234039	0.28	71.82	0.26	49.67	0.017	16.58	1.09	1.34	0.75	0.79
2009	16381405	60486876	221573	0.27	73.93	0.26	49.67	0.017	16.58	0.52	1.46	0.63	0.81
2010	16801388	61035284	222053	0.28	75.66	0.26	49.67	0.017	16.58	0.79	1.57	0.69	0.83
2011	17061950	61657132	226014	0.28	75.49	0.26	49.67	0.017	16.58	0.87	1.56	0.71	0.83
2012	17445766	62424416	230328	0.28	75.74	0.26	49.67	0.017	16.58	1.04	1.57	0.74	0.83
2013	17767130	63225104	233870	0.28	75.97	0.26	49.67	0.017	16.58	1.13	1.59	0.76	0.83
2014	18215924	64118472	238609	0.28	76.34	0.26	49.67	0.017	16.58	1.32	1.61	0.79	0.83
2015	18776158	65053556	243112	0.29	77.23	0.26	49.67	0.017	16.58	1.59	1.66	0.83	0.84
2016	19097498	65971328	246571	0.29	77.45	0.26	49.67	0.017	16.58	1.64	1.68	0.84	0.84
2017	19542980	66940280	250050	0.29	78.16	0.26	49.67	0.017	16.58	1.79	1.72	0.86	0.85
2018	20128580	68005632	254165	0.30	79.19	0.26	49.67	0.017	16.58	2.03	1.78	0.88	0.86

observation date	$\varphi$	$1/\varphi$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha+\beta$	$\lambda^*$	$K^*$	$L^*$
1950	6858388.82	0.00001458%	0.13	0.87	1.0001	1233420.70	3789563.03	9021861.68
1951	11487451.94	0.00000871%	0.16	0.84	0.9999	1332550.73	4300740.78	11974354.31
1952	12755078.66	0.00000784%	0.24	0.76	1.0001	1387090.07	5516778.92	12066930.45
1953	14563151.99	0.00000687%	0.27	0.73	1.0000	1452060.88	6060695.91	12668648.23
1954	10261416.58	0.00000975%	0.28	0.72	1.0001	1444017.01	6382726.22	10295924.96
1955	14818503.02	0.00000675%	0.19	0.81	1.0000	1546704.00	5389432.34	13295783.90
1956	13505617.13	0.00000740%	0.19	0.81	1.0000	1579682.38	5585631.44	12825047.34
1957	12430619.88	0.00000804%	0.25	0.75	1.0000	1612943.00	6685151.57	11746173.57
1958	8751805.82	0.00001143%	0.31	0.69	1.0000	1601084.50	7634090.54	9273289.21
1959	12756845.26	0.00000784%	0.29	0.71	1.0000	1711595.50	7628437.58	11465240.70
1960	12214318.75	0.00000819%	0.32	0.68	1.0000	1755472.38	8257226.47	11045078.53
1961	11627310.50	0.00000860%	0.30	0.70	1.0001	1800489.41	8314772.16	10837819.35
1962	15399135.33	0.00000649%	0.29	0.71	1.0000	1910425.13	8474857.65	12669052.23
1963	16832814.40	0.00000594%	0.29	0.71	1.0000	1993604.88	8780384.16	13290472.19
1964	20535884.32	0.00000487%	0.26	0.74	1.0000	2108577.25	8626412.08	15054971.85
1965	25896899.80	0.00000386%	0.25	0.75	1.0000	2245629.00	8939657.86	17157834.45
1966	32026949.09	0.00000312%	0.24	0.76	1.0000	2393692.25	8997141.52	19709318.24
1967	30360088.99	0.00000329%	0.25	0.75	1.0000	2459366.75	9593159.80	19137564.53
1968	34053280.31	0.00000294%	0.21	0.79	0.9999	2579840.74	9196288.16	20843654.66
1969	33798509.91	0.00000296%	0.24	0.76	1.0000	2661132.75	10068820.00	20709250.75
1970	27234663.71	0.00000367%	0.26	0.74	1.0001	2666763.90	10946935.29	18041448.43
1971	28657119.18	0.00000349%	0.20	0.80	1.0000	2754315.00	9880837.06	19008640.14
1972	34666436.73	0.00000288%	0.22	0.78	1.0001	2899451.17	10759508.13	20787411.43
1973	41840416.20	0.00000239%	0.15	0.85	1.0000	3062840.00	9261041.83	24252239.16
1974	32312689.01	0.00000309%	0.09	0.91	0.9999	3045979.37	7481776.26	22105168.77
1975	26343453.27	0.00000380%	0.25	0.75	1.0000	3040024.75	12318415.66	17843049.57
1976	34936615.32	0.00000286%	0.27	0.73	1.0000	3203825.50	13296077.38	20336943.62
1977	41035771.86	0.00000244%	0.18	0.82	1.0000	3351975.75	11215596.09	23674031.70
1978	49350708.00	0.00000203%	0.18	0.82	1.0000	3537517.75	11381230.31	26601182.95
1979	49674877.28	0.00000201%	0.19	0.81	1.0000	3649520.50	12293767.68	26795349.45
1980	39666170.19	0.00000252%	0.28	0.72	1.0000	3640150.25	15281991.49	22519174.38
1981	40117739.49	0.00000249%	0.33	0.67	1.0001	3732900.50	16973773.96	21858115.73
1982	28046697.03	0.00000357%	0.41	0.59	0.9999	3664867.98	19453880.30	16860010.12
1983	35491140.79	0.00000282%	0.41	0.59	1.0000	3833246.25	19953376.56	18915479.71
1984	51758382.63	0.00000193%	0.40	0.60	1.0000	4110643.75	20208589.40	23546857.91
1985	57088463.54	0.00000175%	0.39	0.61	1.0000	4282043.50	20640336.91	25011703.13
1986	60114635.85	0.00000166%	0.36	0.64	1.0000	4430315.50	20540812.61	26218672.65
1987	63967425.64	0.00000156%	0.34	0.66	1.0001	4584043.36	20646645.02	27765510.96
1988	71742983.71	0.00000139%	0.34	0.66	1.0001	4775522.00	21096506.38	29787943.77
1989	77771207.97	0.00000129%	0.35	0.65	1.0000	4950415.00	22117816.17	31051583.20
1990	76678395.97	0.00000130%	0.35	0.65	1.0000	5043777.50	22546578.56	30967378.07
1991	67560540.76	0.00000148%	0.37	0.63	1.0000	5038317.50	23627902.14	28195220.78
1992	76343884.40	0.00000131%	0.34	0.66	1.0000	5215789.50	23303901.13	30432769.55
1993	80936501.37	0.00000124%	0.32	0.68	0.9999	5358836.06	23122393.94	32013134.96
1994	91401827.21	0.00000109%	0.30	0.70	1.0001	5575849.53	22672834.31	35066605.48
1995	94899794.29	0.00000105%	0.34	0.66	1.0000	5724949.00	24723998.50	35168480.46
1996	103072664.75	0.00000097%	0.32	0.68	0.9999	5940328.91	24773193.45	37160255.63
1997	113725817.64	0.00000088%	0.34	0.67	1.0001	6205749.01	26010776.53	39126923.05
1998	123236001.46	0.00000081%	0.31	0.69	1.0000	6483206.00	25946889.25	41796219.87
1999	132855610.97	0.00000075%	0.30	0.70	1.0000	6791368.00	26205268.16	44094227.01
2000	140025538.32	0.00000071%	0.32	0.68	1.0001	7072387.67	27781509.66	44962819.46
2001	137565051.11	0.00000073%	0.31	0.69	1.0000	7142280.00	28049093.07	44541541.63
2002	138190014.67	0.00000072%	0.32	0.68	1.0000	7266676.50	29173835.24	44024856.60
2003	143459445.64	0.00000070%	0.30	0.70	0.9999	7473844.04	29034381.99	45237520.30
2004	152022008.07	0.00000066%	0.19	0.81	1.0000	7758543.00	24002570.84	50196434.96
2005	158931002.53	0.00000063%	0.19	0.81	1.0000	8031117.50	24476285.75	51794938.80
2006	163836959.79	0.00000061%	0.26	0.74	1.0000	8260403.50	29272118.92	50808595.74
2007	165986067.67	0.00000060%	0.31	0.69	1.0000	8415383.00	32879513.36	49492387.27
2008	160163219.81	0.00000062%	0.32	0.68	0.9999	8403049.61	33681960.19	48237093.82
2009	140096514.51	0.00000071%	0.39	0.61	1.0000	8190702.50	38006116.82	41357268.59
2010	152405917.37	0.00000066%	0.35	0.65	0.9999	8399853.93	36111054.25	44848296.91
2011	157254016.39	0.00000064%	0.31	0.69	0.9999	8530121.90	34408659.55	47294366.31
2012	165035817.51	0.00000061%	0.29	0.71	0.9999	8722010.71	33595321.08	49696458.42
2013	170171500.64	0.00000059%	0.23	0.77	1.0000	8883565.00	30636991.22	52793475.84
2014	178041461.58	0.00000056%	0.28	0.72	1.0000	9107962.00	34224141.68	52758209.00
2015	187221409.77	0.00000053%	0.31	0.69	1.0000	9388079.00	36144516.93	53769136.22
2016	190922067.41	0.00000052%	0.29	0.71	1.0000	9548749.00	35533021.67	55434117.48
2017	196479272.98	0.00000051%	0.28	0.72	1.0000	9771490.00	35547992.25	57023025.57
2018	203146545.25	0.00000049%	0.28	0.72	1.0000	10064290.00	35721004.83	58820636.64

observation_date	EFConsTotGHA	BiocapTotGHA	EC	$\tau$	$1/\tau$	K**	L**
1950							
1951							
1952							
1953							
1954							
1955							
1956							
1957							
1958							
1959							
1960							
1961	1638452427.00	1028414512.00	0.63	7298164.21	0.0000137%	6587453.06	8586359.89
1962	1657075757.00	1030876963.00	0.62	9579896.27	0.0000104%	6684434.12	9992550.74
1963	1649027776.00	1043943465.00	0.63	10656282.96	0.0000094%	6986151.86	10574623.54
1964	1608411424.00	1028635936.00	0.64	13133423.62	0.0000076%	6898623.95	12039604.47
1965	1671331197.00	1054086299.00	0.63	16332829.37	0.0000061%	7099499.32	13626028.64
1966	1777686681.00	1042050420.00	0.59	18773665.86	0.0000053%	6888446.81	15089969.40
1967	1934151798.00	1045470662.00	0.54	16410595.26	0.0000061%	7052974.70	14070104.25
1968	2063714959.00	1072783789.00	0.52	17701963.60	0.0000056%	6630462.40	15028135.91
1969	2127532205.00	1098871797.00	0.52	17456952.82	0.0000057%	7236257.61	14883320.32
1970	2286777870.00	1077881232.00	0.47	12837159.77	0.0000078%	7515640.80	12386393.30
1971	2348662449.00	1106739885.00	0.47	13503846.33	0.0000074%	6782756.35	13048588.27
1972	2314481494.00	1107172387.00	0.48	16583291.59	0.0000060%	7441717.59	14377427.24
1973	2442652364.00	1091185360.00	0.45	18691014.04	0.0000054%	6189823.70	16209524.54
1974	2348491202.00	1037783607.00	0.44	14278775.63	0.0000070%	4973517.51	14694430.84
1975	2326177210.00	1073893321.00	0.46	12161609.36	0.0000082%	8369779.69	12123506.63
1976	2405758706.00	1070524583.00	0.44	15546241.38	0.0000064%	8869432.30	13566192.46
1977	2480831826.00	1082192058.00	0.44	17900683.93	0.0000056%	7407571.79	15636002.59
1978	2504317259.00	1103648133.00	0.44	21748768.67	0.0000046%	7555441.63	17659223.10
1979	2576884498.00	1116305460.00	0.43	21519139.40	0.0000046%	8091500.21	17636137.38
1980	2245270558.00	1066719614.00	0.48	18845248.56	0.0000053%	10533452.79	15521842.19
1981	2275830764.00	1109464617.00	0.49	19557347.22	0.0000051%	11851277.32	15261578.94
1982	2130023472.00	1119276090.00	0.53	14737864.54	0.0000068%	14102063.24	12221774.02
1983	2046890097.00	1077345732.00	0.53	18680157.33	0.0000054%	14475936.98	13722955.18
1984	2313470766.00	1118064219.00	0.48	25014016.39	0.0000040%	14048739.72	16369459.12
1985	2461304799.00	1146700316.00	0.47	26597014.40	0.0000038%	14088314.85	17072044.42
1986	2445038154.00	1138688916.00	0.47	27996237.78	0.0000036%	14017718.91	17892475.35
1987	2477639076.00	1146406024.00	0.46	29597790.42	0.0000034%	14044287.13	18886691.17
1988	2496432441.00	1071715262.00	0.43	30799171.38	0.0000032%	13822619.09	19517326.36
1989	2581811073.00	1126221111.00	0.44	33924858.86	0.0000029%	14608036.54	20508474.19
1990	2546760789.00	1162817024.00	0.46	35010333.36	0.0000029%	15234993.05	20925028.09
1991	2420704954.00	1134253235.00	0.47	31656382.49	0.0000032%	16173694.93	19300101.07
1992	2475492527.00	1193187349.00	0.48	36797750.77	0.0000027%	16179017.29	21128321.06
1993	2465817692.00	1121120296.00	0.45	36798971.26	0.0000027%	15591159.75	21586082.41
1994	2723657022.00	1193395102.00	0.44	40048542.10	0.0000025%	15007962.33	23211844.04
1995	2626127148.00	1130910070.00	0.43	40867454.98	0.0000024%	16224632.54	23078616.21
1996	2770161235.00	1161478861.00	0.42	43216517.41	0.0000023%	16041136.16	24062005.63
1997	2842355448.00	1168878333.00	0.41	46768128.25	0.0000021%	16680104.94	25091184.09
1998	2891121167.00	1177835392.00	0.41	50206032.78	0.0000020%	16561301.04	26677563.26
1999	3010924493.00	1171811265.00	0.39	51705614.64	0.0000019%	16348108.46	27508102.61
2000	3085718907.00	1185563775.00	0.38	53799199.09	0.0000019%	17220276.54	27870054.38
2001	3103210394.00	1179725800.00	0.38	52297143.72	0.0000019%	17294330.40	27463138.83
2002	2899157999.00	1118493841.00	0.39	53313644.98	0.0000019%	18120675.46	27345055.33
2003	2917825187.00	1144266638.00	0.39	56259661.57	0.0000018%	18182205.83	28329099.81
2004	3081110109.00	1190968880.00	0.39	58762418.18	0.0000017%	14922938.78	31208253.94
2005	3096487818.00	1172042367.00	0.38	60156499.67	0.0000017%	15058526.66	31865760.80
2006	3038807704.00	1164877850.00	0.38	62804252.21	0.0000016%	18123528.08	31457613.79
2007	3049810529.00	1178896005.00	0.39	64161465.18	0.0000016%	20442156.05	30770866.13
2008	2908467274.00	1190127299.00	0.41	65537825.33	0.0000015%	21545767.84	30856435.29
2009	2663015828.00	1228459383.00	0.46	64627057.78	0.0000015%	25813507.87	28089588.39
2010	2794220625.00	1202300649.00	0.43	65577403.49	0.0000015%	23687343.69	29418610.03
2011	2702274281.00	1191110970.00	0.44	69314571.55	0.0000014%	22844368.26	31399360.94
2012	2603533429.00	1170865832.00	0.45	7422010.74	0.0000013%	22529460.05	33327092.53
2013	2711229622.00	1221338560.00	0.45	76657843.31	0.0000013%	20562539.21	35433588.74
2014	2694846582.00	1234931598.00	0.46	81588699.01	0.0000012%	23167917.27	35714491.63
2015	2651491508.00	1232613688.00	0.46	87034663.95	0.0000011%	24643977.16	36660757.36
2016	2652536708.00	1284756386.00	0.48	92473120.01	0.0000011%	24729300.50	38579520.81
2017	2620704788.00	1248190455.00	0.48	93579236.49	0.0000011%	24532762.49	39353343.31
2018	2687814214.00	1256665232.00	0.47	94979481.50	0.0000011%	24424959.02	40219799.14

observation_date	SLPOV.UMIC%	SLPOV.UMIC0_1	SLPOV.GINI0_1	SM	$\psi$	$1/\psi$	K***	L***
1950	.	.	.	.	.	.	.	.
1951	.	.	.	.	.	.	.	.
1952	.	.	.	.	.	.	.	.
1953	.	.	.	.	.	.	.	.
1954	.	.	.	.	.	.	.	.
1955	.	.	.	.	.	.	.	.
1956	.	.	.	.	.	.	.	.
1957	.	.	.	.	.	.	.	.
1958	.	.	.	.	.	.	.	.
1959	.	.	.	.	.	.	.	.
1960	.	.	.	.	.	.	.	.
1961	.	.	.	.	.	.	.	.
1962	.	.	.	.	.	.	.	.
1963	4.74	0.05	0.38	0.02	300041.45	0.000333%	1172264.94	1774404.67
1964	4.25	0.04	0.38	0.02	332917.88	0.000300%	1098353.29	1916866.22
1965	3.75	0.04	0.38	0.01	364196.29	0.000275%	1060143.77	2034727.91
1966	4.00	0.04	0.38	0.02	484070.64	0.000207%	1106117.18	2423082.42
1967	3.25	0.03	0.37	0.01	363996.75	0.000275%	1050410.16	2095481.84
1968	2.75	0.03	0.36	0.01	340208.17	0.000294%	919190.36	2083371.69
1969	2.50	0.03	0.36	0.01	304324.83	0.000329%	955429.16	1965098.40
1970	3.00	0.03	0.37	0.01	299322.43	0.000334%	1147628.10	1891385.37
1971	2.50	0.03	0.37	0.01	264505.08	0.000378%	949280.33	1826214.52
1972	2.50	0.03	0.37	0.01	317755.91	0.000315%	1030112.45	1990181.24
1973	2.25	0.02	0.36	0.01	339994.63	0.000294%	834829.68	2186199.93
1974	2.50	0.03	0.35	0.01	286600.04	0.000349%	704622.15	2081830.70
1975	2.49	0.02	0.36	0.01	233847.59	0.000428%	1160606.38	1681121.81
1976	2.00	0.02	0.36	0.01	248484.53	0.000402%	1121328.35	1715121.74
1977	2.00	0.02	0.36	0.01	291402.90	0.000343%	945122.26	1994976.84
1978	2.25	0.02	0.35	0.01	386323.42	0.000259%	1006973.49	2353584.39
1979	1.50	0.02	0.35	0.01	259007.97	0.000386%	887714.19	1934851.26
1980	1.50	0.02	0.35	0.01	206571.89	0.000484%	1102822.03	1625091.96
1981	1.50	0.02	0.35	0.01	213562.16	0.000468%	1238432.51	1594801.56
1982	2.00	0.02	0.37	0.01	205650.24	0.000486%	1665827.34	1443715.36
1983	2.00	0.02	0.37	0.01	264716.76	0.000378%	1723245.44	1633608.93
1984	1.75	0.02	0.37	0.01	338265.41	0.000296%	1633708.03	1903581.20
1985	1.75	0.02	0.38	0.01	376060.71	0.000266%	1675218.99	203009.50
1986	1.75	0.02	0.38	0.01	395107.58	0.000253%	1665272.04	2125583.99
1987	1.50	0.02	0.37	0.01	356912.19	0.000280%	1542235.67	2073991.26
1988	1.50	0.02	0.38	0.01	405770.43	0.000246%	1586576.51	2240221.73
1989	1.25	0.01	0.38	0.00	371734.61	0.000269%	1529147.29	2146796.23
1990	1.50	0.02	0.38	0.00	440090.54	0.000227%	1708107.31	2346059.06
1991	1.50	0.02	0.38	0.01	385560.39	0.000259%	1784944.88	2129978.14
1992	1.75	0.02	0.38	0.01	512681.98	0.000195%	1909701.67	2493896.21
1993	1.75	0.02	0.40	0.01	571718.85	0.000175%	1943353.64	2690588.29
1994	1.75	0.02	0.40	0.01	639601.71	0.000156%	1896632.48	2933398.71
1995	1.50	0.02	0.40	0.01	567334.63	0.000176%	1911638.28	2719196.64
1996	1.50	0.02	0.40	0.01	623224.73	0.000160%	1926338.40	2889543.79
1997	1.49	0.01	0.41	0.01	686714.24	0.000146%	2021211.74	3040424.26
1998	1.50	0.02	0.40	0.01	738558.47	0.000135%	2008671.61	3235643.38
1999	1.50	0.02	0.40	0.01	796851.09	0.000125%	2029491.53	3414918.70
2000	1.50	0.02	0.40	0.01	843108.16	0.000119%	2155727.50	3488924.38
2001	1.74	0.02	0.41	0.01	971737.50	0.000103%	2357432.40	3743567.51
2002	1.75	0.02	0.40	0.01	975901.77	0.000102%	2451648.74	3699667.30
2003	2.00	0.02	0.41	0.01	1169842.67	0.000085%	2621873.54	4085055.35
2004	2.00	0.02	0.40	0.01	1223879.14	0.000082%	2153643.40	4503901.74
2005	1.75	0.02	0.41	0.01	1139366.77	0.000088%	2072397.11	4385456.30
2006	2.00	0.02	0.41	0.01	1356523.37	0.000074%	2663556.17	4623223.52
2007	1.75	0.02	0.41	0.01	1185098.91	0.000084%	2778221.46	4181960.09
2008	2.00	0.02	0.41	0.01	1307322.44	0.000076%	3043037.61	4358038.84
2009	1.75	0.02	0.41	0.01	995650.85	0.000100%	3204006.35	3486516.44
2010	2.00	0.02	0.40	0.01	1219573.88	0.000082%	3230303.37	4011890.76
2011	2.00	0.02	0.41	0.01	1287505.07	0.000078%	3113446.13	4279401.28
2012	2.00	0.02	0.41	0.01	1351209.68	0.000074%	3039842.38	4496739.29
2013	2.00	0.02	0.41	0.01	1383562.77	0.000072%	2762471.97	4760321.40
2014	2.00	0.02	0.42	0.01	1478157.40	0.000068%	3118403.65	4807173.64
2015	2.25	0.02	0.41	0.01	1737175.97	0.000058%	3481661.74	5179373.26
2016	2.00	0.02	0.41	0.01	1570215.10	0.000064%	3222431.18	5027228.76
2017	2.00	0.02	0.41	0.01	1618225.25	0.000062%	3226087.87	5175012.13
2018	1.75	0.02	0.41	0.01	1472075.57	0.000068%	3040772.99	5007143.66

observation_date	K%/K	L%/L	GM K%/K	GM L%/L	Adj.K*	Adj.K**	Adj.K***	Adj.L*	Adj.L**	Adj.L***	Y*	Y**	Y***
1950	0.36	90.16	0.52	151.60	7278304.90	.	.	59509.01	.	.	1398828.25	.	.
1951	0.39	110.34	0.52	151.60	8260082.37	.	.	78983.91	.	.	1070945.27	.	.
1952	0.49	108.95	0.52	151.60	10595627.73	.	.	79594.55	.	.	1625392.31	.	.
1953	0.52	112.93	0.52	151.60	11640284.77	.	.	83563.54	.	.	1790438.61	.	.
1954	0.53	95.59	0.52	151.60	12258782.13	.	.	67912.84	.	.	2946897.56	.	.
1955	0.43	119.53	0.52	151.60	10351043.52	.	.	87700.18	.	.	1526319.09	.	.
1956	0.43	112.86	0.52	151.60	10727867.15	.	.	84595.16	.	.	1798230.73	.	.
1957	0.50	103.67	0.52	151.60	12839625.86	.	.	77478.81	.	.	2888623.50	.	.
1958	0.56	84.53	0.52	151.60	14662175.62	.	.	61167.44	.	.	5533274.12	.	.
1959	0.54	101.32	0.52	151.60	14651318.43	.	.	75625.75	.	.	3981912.33	.	.
1960	0.56	96.28	0.52	151.60	15858982.01	.	.	72854.33	.	.	4952535.89	.	.
1961	0.55	94.57	0.52	151.60	15969505.34	12651984.29	.	71487.23	56636.40	.	5474233.02	3436035.49	.
1962	0.54	107.28	0.52	151.60	16276968.48	12838247.92	.	83566.20	65911.76	.	4478666.92	2786206.08	.
1963	0.54	110.67	0.52	151.60	16863768.35	13417732.60	2251473.75	87665.14	69751.16	11704.13	4566266.34	2800748.10	81392.76
1964	0.51	122.51	0.52	151.60	16568046.73	13249624.87	2109517.67	99303.94	79414.31	12643.82	3792919.75	2425706.20	61488.99
1965	0.50	134.46	0.52	151.60	17169672.38	13635429.82	2036131.75	113174.61	89878.50	13421.25	3354386.83	2115567.04	47173.80
1966	0.49	147.12	0.52	151.60	17280076.56	13230078.46	2124429.13	130004.42	99534.79	15982.87	2810643.21	1647552.39	42481.41
1967	0.50	140.54	0.52	151.60	18424800.30	13546073.77	2017437.19	126233.09	92807.67	13821.99	3425970.09	1851845.97	41075.04
1968	0.46	149.80	0.52	151.60	17662561.29	12734588.82	1765414.02	137486.61	99126.93	13742.11	2921441.49	1518656.95	29186.56
1969	0.49	144.80	0.52	151.60	19338362.09	13898090.32	1835014.93	136600.07	98171.71	12961.96	3546847.00	1831948.83	31936.13
1970	0.51	128.11	0.52	151.60	21024886.57	14434678.86	2204155.78	119003.01	81701.76	12475.75	5343959.62	2518895.19	58732.76
1971	0.45	135.73	0.52	151.60	18977318.58	13027087.40	1823205.37	125382.69	86069.65	12045.87	4386531.82	2067027.43	40487.67
1972	0.47	144.23	0.52	151.60	20664910.49	14292700.56	1978453.03	137115.62	94834.80	13127.41	4452118.17	2129747.99	40808.55
1973	0.39	161.34	0.52	151.60	17786928.38	11888289.99	11888289.99	1603389.33	159969.94	106919.47	14420.37	2788162.27	22656.57
1974	0.31	146.83	0.52	151.60	14369637.99	9552229.79	1353310.34	145807.67	96925.78	13731.94	2330951.19	1030032.79	20674.56
1975	0.50	121.83	0.52	151.60	23658977.15	16075153.82	2229082.11	117694.35	79967.73	11088.83	8062222.10	3721972.01	71567.35
1976	0.52	134.96	0.52	151.60	25336692.35	17034795.87	2156343.99	134144.30	89483.82	11313.10	7352239.31	3212634.24	52292.35
1977	0.43	151.97	0.52	151.60	21540881.47	1422719.52	1815219.32	156156.03	103136.47	13159.05	4537575.02	1979387.56	32222.19
1978	0.42	163.26	0.52	151.60	21859001.62	14511121.07	1934011.92	175463.78	116481.81	15524.45	3939700.56	1736218.98	30840.46
1979	0.44	159.85	0.52	151.60	23611637.78	15540685.09	1704960.30	176744.52	116329.54	12762.45	4586509.62	1986874.36	23914.35
1980	0.53	135.14	0.52	151.60	29350875.76	20230744.43	2118100.44	148538.49	102383.46	10719.25	8922200.35	4238903.90	46644.68
1981	0.57	130.29	0.52	151.60	32600144.49	22761782.61	2378556.40	144178.08	100666.74	10519.45	1119600.61	5458038.84	59600.65
1982	0.64	102.94	0.52	151.60	37363482.64	27084683.72	3199418.33	111210.13	80615.91	9522.88	21228226.71	11154922.42	155654.33
1983	0.64	113.90	0.52	151.60	38322824.39	27802752.55	3309697.10	124768.19	90517.84	10775.43	18509936.56	9742389.76	138059.54
1984	0.63	135.16	0.52	151.60	38812990.90	26982269.58	3137729.89	155317.18	107974.42	12556.19	13467272.04	6508521.84	88014.97
1985	0.62	140.83	0.52	151.60	39642213.17	27058278.30	3217456.59	164979.43	112608.73	13390.12	13162149.10	6132129.81	86703.46
1986	0.60	146.00	0.52	151.60	39451064.95	26922690.43	3198352.31	172940.71	118020.37	14020.54	12817439.72	5969263.31	84243.50
1987	0.59	150.26	0.52	151.60	39654328.64	26973717.84	2962046.38	183143.79	124578.30	13680.23	12268931.08	5676846.41	68455.64
1988	0.58	157.05	0.52	151.60	40518340.10	26549798.10	3073240.28	196483.94	128738.03	14776.70	11677031.36	5012934.66	66044.01
1989	0.59	159.30	0.52	151.60	42479887.18	28056465.41	2936908.60	204819.02	135275.73	14160.46	11994641.34	5232252.72	57332.57
1990	0.59	157.64	0.52	151.60	43303376.17	29260609.68	3280622.52	204263.59	138023.36	15474.82	12847286.11	5865899.57	73736.14
1991	0.61	146.63	0.52	151.60	45380186.25	31063497.90	3428198.19	185978.20	127305.19	14049.53	16494968.19	7728934.91	94134.92
1992	0.59	157.42	0.52	151.60	44757903.91	31073720.12	3667808.37	200737.27	139364.29	16449.96	14808694.77	7137790.59	99446.75
1993	0.57	162.75	0.52	151.60	44409297.85	29944670.03	3732440.98	211161.50	1394344.64	17747.36	13943448.64	6339594.09	98496.66
1994	0.55	173.54	0.52	151.60	43545865.30	28824570.27	3642707.45	231302.46	153107.40	19349.96	12082114.30	5293888.29	84546.90
1995	0.58	169.52	0.52	151.60	47485369.22	31161329.61	3671527.88	231974.44	152228.62	17936.06	13840068.38	5960058.98	82739.38
1996	0.57	176.82	0.52	151.60	47579853.94	30808903.06	3699761.18	245112.37	158715.14	19059.69	13224226.38	5544680.65	79959.75
1997	0.58	180.64	0.52	151.60	49956778.92	32036118.32	3881976.68	258084.68	165503.69	20054.91	13452706.71	5532234.69	81231.91
1998	0.56	187.98	0.52	151.60	49834075.82	31807941.35	3857891.88	275691.60	175967.59	21342.59	12645573.38	5151774.35	75785.45
1999	0.55	194.34	0.52	151.60	50330323.15	31398479.75	3897879.00	290849.46	181445.90	22525.11	12375547.32	4816396.36	74226.96
2000	0.56	194.97	0.52	151.60	53357681.75	33073581.91	4140330.14	296578.78	183833.37	23013.26	13600957.01	5225622.43	81892.76
2001	0.55	195.59	0.52	151.60	53871607.40	33215811.11	4527728.32	293799.99	181149.32	24692.91	14499983.34	5512357.29	102425.56
2002	0.56	195.11	0.52	151.60	56031808.02	34802904.74	4708681.95	290391.89	180370.43	24403.34	16100674.73	6211633.01	113703.42
2003	0.55	201.55	0.52	151.60	55763971.53	34921081.11	5035618.86	298390.73	186861.27	26945.39	15937170.45	6249988.02	129959.95
2004	0.44	221.01	0.52	151.60	46099781.88	28661272.48	4136327.37	331100.17	205852.43	29708.14	10553155.99	4079205.20	84959.98
2005	0.44	224.80	0.52	151.60	47009607.51	28921685.07	3980284.25	341644.05	210189.41	28926.86	10708738.69	4053332.73	76770.30
2006	0.51	216.45	0.52	151.60	56220573.48	34808383.54	515675.29	335138.04	207497.23	30495.20	14993363.19	5747463.60	124140.78
2007	0.56	209.17	0.52	151.60	63149002.02	39261583.34	5335903.57	326456.21	202967.38	27584.58	18857609.70	7289357.99	134638.61
2008	0.56	206.11	0.52	151.60	64690196.26	41381200.58	5844514.37	318176.18	203531.80	28746.01	20688306.06	8465530.29	168867.03
2009	0.63	186.65	0.52	151.60	72995251.54	49577901.07	6153673.91	272796.24	185281.44	22997.37	30884478.65	14247128.08	219492.67
2010	0.59	201.97	0.52	151.60	69355559.27	45494350.79	6204180.46	295823.37	194047.78	26462.79	26116341.46	11237371.17	208986.69
2011	0.56	209.25	0.52	151.60	66085908.50	43875316.57	5979742.27	311957.87	207112.99	28227.31	22939461.46	10111277.15	187815.06
2012	0.54	215.76	0.52	151.60	64523795.59	43270498.03	5838377.55	327802.28	219828.48	29660.89	20891721.25	9395463.22	171048.30
2013	0.48	225.74	0.52	151.60	58841396.31	39492793.46	5305654.80	348230.49	233723.12	31399.51	16889295.27	7608189.07	137316.77
2014	0.53	221.11	0.52	151.60	65731520.06	44496730.79	5989263.79	347997.86	235575.98	31708.55	20220727.27	9266284.47	167878.97
2015	0.56	221.17	0.52	151.60	69419828.32	47331678.74	6686944.00	354666.03	241817.63	34163.61	21636421.90	10058244.47	200758.41
2016	0.54	224.82	0.52	151.60	68245379.21	47495523.33	6189600.98	365648.39	254473.97	33160.05	20548412.51	9952625.39	168997.90
2017	0.53	228.05	0.52	151.60	68274131.98	47118077.79	6196084.08	376128.97	259578.17	34134.84	20115943.81	9580830.77	165677.16
2018	0.53	231.43	0.52	151.60	68606423.14	46911028.45	5840164.89	387986.18	265293.39	33027.57	19828787.06	9270784.85	143686.78