



*UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUYO
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES*

**EL PAPEL DE LA CALIDAD INSTITUCIONAL EN LA GENERACIÓN DE
CONOCIMIENTO**

**TRABAJO FINAL PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE LICENCIATURA EN
ECONOMÍA**

Elaborada por María Luján García Lillo

Director Lic. Agustín Muggiani

San Juan, Abril de 2025

Dedicatoria

A mi familia, por su esfuerzo y apoyo incondicional a lo largo de mi vida, por enseñarme el valor del compromiso y la perseverancia, y por brindarme siempre el aliento necesario para seguir adelante.

A Paz, mi hermana y compañera, por su presencia constante, por compartir cada desafío y cada alegría.

A mi director, Agustín, y a mi profesor, Carlos, por su guía y enseñanza, tanto en este trabajo como a lo largo de toda mi formación.

Y, por último, a mi abuelo Sigi, cuya memoria ha sido un faro en los momentos de desaliento y cuyo orgullo, sin duda, me acompañaría en este logro.

Índice

Resumen	VII
Introducción	1
Capítulo 1: Marco Teórico	6
1.1. El desarrollo de la teoría del crecimiento: La innovación como eje central	6
1.2. Paradigma Evolucionista	9
1.2.1. ¿Dónde reside el conocimiento?	12
1.2.2. Paradigmas y trayectorias tecnológicas	14
1.2.3. Formalización y estimación de la tecnología en los modelos económicos	17
1.3. Paradigma Institucionalista	19
1.3.1. ¿Qué son las instituciones?	20
1.3.2. Sistema Nacional de Innovación	23
1.3.3. La evolución de las instituciones	24
Capítulo 2: Modelo Microeconómico	28
2.1. Introducción	28
2.2. Dinámica evolutiva básica	30
2.3. Desarrollo del Modelo Winter (2004)	32
2.3.1. Comportamiento de las firmas	33
2.3.2. Proceso de generación de conocimiento	35
2.3.2.1. Régimen de investigación	37
2.3.3. Estrategia de inversión en capital físico	39
2.3.4. Evaluación de desempeño	41
2.3.5. Evolución y ajuste de rutinas en el proceso innovador	42
2.3.6. Entrada y salida de firmas en la industria	44
2.3.6.1. Entrada de firmas	44
2.3.6.2. Salida de firmas	45
2.4. Simulaciones	48

2.4.1. Simulación 1: Régimen Emprendedor (RE)	49
2.4.2. Simulación 2: Régimen Rutinizado (RR)	52
2.4.3. Análisis de sensibilidad	54
2.5. Hipótesis	54
Capítulo 3: Modelo Macroeconómico	57
3.1. Introducción	57
3.2. Modelo de ciclos económicos reales y la dinámica del Sistema Nacional de Innovación	58
3.3. Desarrollo del Modelo Tebaldi y Elmslie (2006)	60
3.3.1. Sector bien final	63
3.3.2. Sector bien intermedio	65
3.3.3. Sector investigación y desarrollo	66
3.3.4. Consumidores	67
3.3.5. Vaciado de mercado	68
3.4. Simulaciones	69
3.5. Hipótesis	71
Capítulo 4: Revisión Literaria	73
4.1. Evidencia sobre el vínculo entre calidad institucional e innovación en la economía	73
4.2. Evidencia sobre la interacción entre calidad institucional e innovación	74
Capítulo 5: Metodología	78
5.1. Enfoque	78
5.2. Proxies para “Innovación”	79
5.2.1. “Campos Tecnológicos”	80
5.3. Variables independientes	82
5.3.1. Stock de tecnología	82
5.3.2. Stock de capital humano	83
5.3.3. Participación importaciones de Europa	83
5.3.4. Calidad institucional	84

5.4. Problemas de endogeneidad	86
5.5. Método de estimación	87
Resultados y discusión	88
6.1. Estadística descriptiva	88
6.2. Estimación básica	90
6.3. Abordando la endogeneidad	93
6.4. Estimación por “Campo Tecnológico”	95
Conclusión y recomendaciones	99
Bibliografía	102
A. Anexo Sección Microeconómica	112
A.1. Matriz de transición básica	112
A.2. Derivación Markup	114
A.3. Parámetros Modelo Winter	115
A.4. Simulaciones $n = 3$	116
A.5. Comparación	118
A.5.1. Modelo Neoclásico	119
A.5.2. Resultados	120
B. Anexo Sección Macroeconómica	124
B.1. Parámetros Modelo Tebaldi	124
C. Anexo Sección Econométrica	125
C.1. Clasificación patentes EPO	125
C.2. Estadística descriptiva	127
C.3. QQ-Plots y Test normalidad residuos	131
C.4. Instrumentos y Tests de validez	132
C.5. Estimaciones alternativas y robustez instrumental	134

Índice de Fíguras

1.	Promedio de innovación por continente.	1
2.	PIB per cápita de Argentina e Irlanda para los años 1960 y 2023, expresado en dólares estadounidenses constantes 2015 (U\$D).	2
3.	Comparación de indicadores institucionales Argentina e Irlanda para el 2023.	4
4.	Trayectorias productivas en el Modelo de Infección. Configura- ción A y Configuración B	31
5.	Diagrama del proceso de generación de conocimiento en dos etapas según Winter (2004).	37
6.	Diagrama estructural del modelo extendido de Winter, basado en la representación de Andersen (2001).	47
7.	Distribución de patentes en función del horizonte temporal de vigencia y nivel institucional, RE.	50
8.	Evolución máxima tecnología desarrollada, RE.	51
9.	Distribución de patentes en función del horizonte temporal de vigencia y nivel institucional, RR.	52
10.	Evolución máxima tecnología desarrollada, RR.	53
11.	Diagrama estructural del modelo RBC.	59
12.	Esquema de Modelo de Economía.	61
13.	Funciones de Impulso Respuesta shock institucional.	70
14.	Distribución patentes $n = 3$, RE.	116
15.	Máxima tecnología $n = 3$, RE.	117
16.	Distribución patentes $n = 3$, RR.	117
17.	Máxima tecnología $n = 3$, RR.	118
18.	Persistencia y selección en la dinámica de innovación.	121
19.	Heterogeneidad en la evolución del conocimiento.	122
20.	Trayectoria tecnológica estocástica.	123
21.	Matriz de correlación.	128
22.	Distribución de la media de Calidad Institucional.	129
23.	Relación entre la calidad institucional y la producción de patentes.130	

24.	Box-Plot log (Patentes) según Campo Tecnológico.	130
25.	Q-Q Plot, Normalidad de los residuos especificación (1).	131
26.	Distribución de Origen Legal.	132

Índice de Tablas

1.	Resultados de los test de Mann-Whitney U, comparación cantidad de patentes $n = 5$, RE.	50
2.	Resultados de los test de Mann-Whitney U y Levene, comparación Máxima Tecnología $n = 5$, RE,	51
3.	Resultados de los test de Mann-Whitney U, comparación cantidad de patentes $n = 5$, RR.	52
4.	Resultados de los test de Mann-Whitney U y Levene, comparación Máxima Tecnología $n = 5$, RR.	53
5.	Análisis de sensibilidad parámetros institucionales	54
6.	Esquema de flujo y stock de los agentes del modelo	63
7.	Descripción de las variables institucionales utilizadas en el estudio.	85
8.	Resultados de regresión GMM	92
9.	Resultados de regresión IV-GMM	94
10.	Resultados de regresión GMM por Campo Tecnológico	96
11.	Matriz de transición de las firmas. Configuración A	113
12.	Matriz de transición de las firmas. Configuración B	114
13.	Modelo Winter (2004) parámetros	116
14.	Modelo Tebaldi y Elmslie (2006) modificado, parámetros	124
15.	Clasificación de tecnologías según EPO y según régimen tecnológico	126
16.	Resumen estadístico de las variables utilizadas en el análisis	127
17.	Test ANOVA, Relevancia del instrumento.	133
18.	Test Hansen-J, Exclusión del instrumento	133
19.	Resultados de regresión IV-Alternativos	134

Resumen

Esta tesis analiza la relación entre la calidad institucional y la innovación con el propósito de identificar los mecanismos mediante los cuales los marcos institucionales influyen en los incentivos para la generación de conocimiento. La investigación se basa en dos enfoques teóricos: el modelo evolutivo de Winter (2004), que permite comprender las motivaciones empresariales para innovar y el rol de las instituciones a nivel industrial, y el marco de Tebaldi y Elmslie (2006), utilizado para evaluar los efectos macroeconómicos.

Metodológicamente, se emplea estimación econométrica mediante el método generalizado de momentos, utilizando datos de panel de 39 países en el período 2014-2020. Las variables incluyen la cantidad de patentes, proporcionado por la European Patent Office, e índices institucionales del Banco Mundial y Fraser Institute, con observaciones determinadas por la disponibilidad de datos. Este trabajo contribuye a la literatura proporcionando evidencia empírica sobre el papel de las instituciones en la dinámica del cambio tecnológico y sus efectos en distintos sectores.

Palabras clave: innovación, instituciones formales, sistema nacional de innovación, dinámica evolutiva, crecimiento económico, estimación econométrica.

INTRODUCCIÓN

Introducción

La innovación ha sido reconocida como un factor disruptivo clave en el desarrollo económico, desafiando el statu quo y transformando las estructuras productivas. Desde las ideas pioneras de Schumpeter (1934), su relevancia como motor de crecimiento ha sido ampliamente aceptada. Esta perspectiva, también presentada por Schmookler (1966), establece una relación positiva entre el nivel de innovación de los países y su desarrollo económico. Dicha relación, validada empíricamente por trabajos como Crosby (2000), Contreras y Blanco (2008), Martín et al. (2012), d'Agostino y Scarlato (2013), German-Soto et al. (2021), plantea un interrogante crucial: ¿por qué algunos países no generan más innovación, a pesar de los claros beneficios económicos que esta puede aportar?

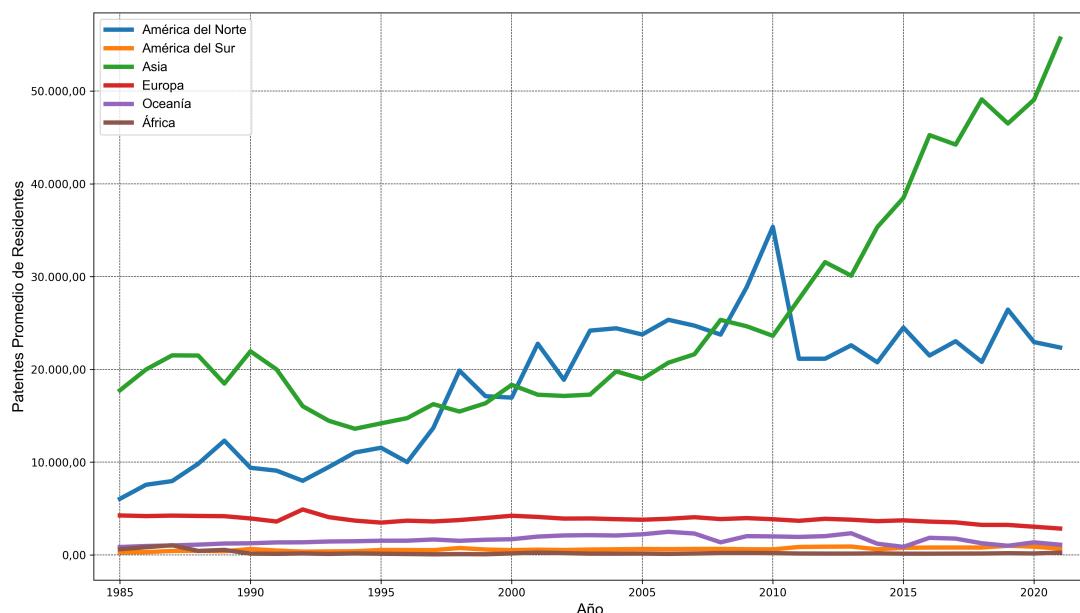


Figura 1: Promedio de innovación por continente.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de World Intellectual Property Organization (2024).

Al observar los datos empíricos, se revelan profundas asimetrías: regiones como Asia y Norteamérica lideran consistentemente en innovación, medida a través de patentes, mientras que Sudamérica y África enfrentan un rezago persistente (ver Figura 1). Estas diferencias reflejan las disparidades económicas

cas y estructurales que condicionan la capacidad de los países para generar conocimiento.

Tradicionalmente, las brechas en innovación se han atribuido a distintos factores como el capital humano, siguiendo el enfoque de Becker (1964) y sus extensiones recientes, como las de Hanushek y Woessmann (2008). Otro argumento recurrente ha sido que muchas economías quedan atrapadas en la llamada “trampa de pobreza”, donde la falta de recursos iniciales impide el desarrollo de capacidades innovadoras, como plantea Rosenstein-Rodan (1943). Sin embargo, esta visión resulta insuficiente para explicar por qué, bajo condiciones similares, los resultados en innovación pueden divergir significativamente. Un caso ilustrativo es la evolución de Argentina e Irlanda, que a mediados del siglo XX presentaban niveles de ingreso per cápita comparables (ver Figura 2). Tal que en 1960, el PBI per cápita de Argentina equivalía aproximadamente al 87 % del de Irlanda, pero para 2023 había caído por debajo del 14 %.

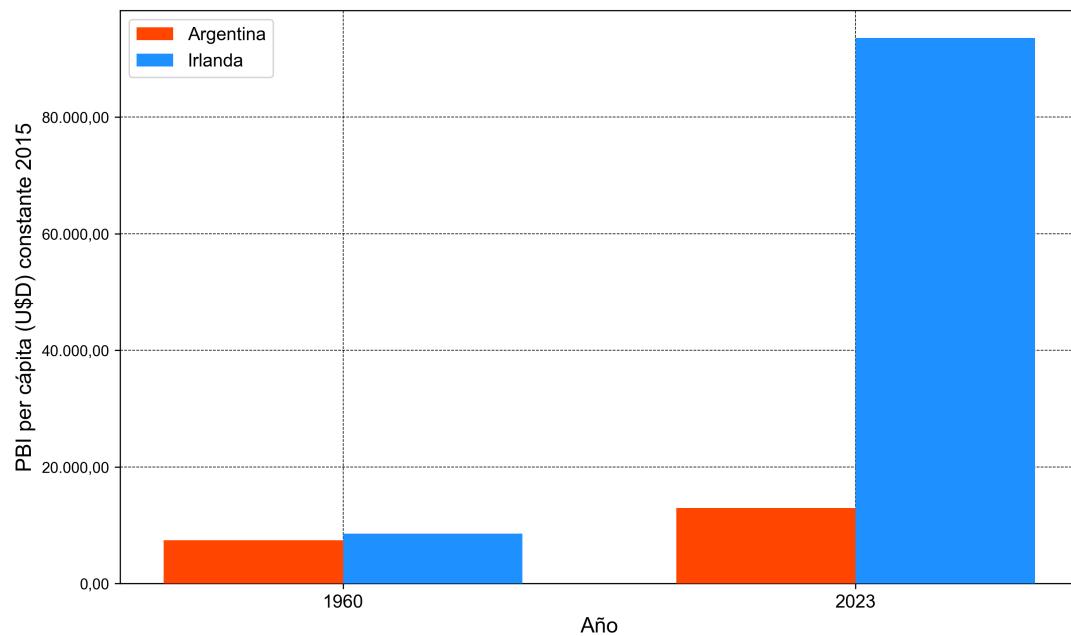


Figura 2: PIB per cápita de Argentina e Irlanda para los años 1960 y 2023, expresado en dólares estadounidenses constantes 2015 (U\$D).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de World Bank (2024a) y United Nations (2024).

Al analizar la producción de artículos científicos como indicador de la ca-

pacidad del capital humano, se observa que Argentina publicó, en promedio, un 28,6 % más de artículos por año que Irlanda durante el período 1996-2020, según datos de National Science Foundation (2024). No obstante, esta ventaja en producción académica, junto con un nivel de PBI per cápita comparable, no se ha traducido en un liderazgo en innovación tecnológica ni en un crecimiento económico significativo para Argentina en comparación con Irlanda.

El enfoque institucional-evolucionista, sin embargo, ofrece una alternativa clave: como sugieren autores Nelson y Winter (1982), la innovación no es un fenómeno aislado, sino que opera dentro de lo que Lundvall (1988) denomina “Sistemas Nacionales de Innovación”. La interacción entre las reglas formales e informales en estos sistemas determina no solo los incentivos para innovar, sino también las capacidades de los agentes económicos para desarrollar y adoptar nuevas tecnologías, colocando a las instituciones en el centro de la configuración económica.

Bajo esta óptica, al analizar variables como “Control de Corrupción”, “Calidad Regulatoria” y “Estado de Derecho”, como indicadores de la calidad institucional de los países, se observan diferencias significativas entre los valores de Argentina e Irlanda (ver figura 3). Estas disparidades observadas refuerzan la hipótesis de que las instituciones desempeñan un papel crucial en la explicación de las divergencias en innovación y desarrollo económico entre ambos países.

Sin embargo, estas diferencias no se limitan a casos aislados, como el de Argentina e Irlanda, sino que reflejan patrones más amplios en la relación entre calidad institucional e innovación. Por ejemplo, Freeman (1995) compara los casos de Japón y la URSS, cuyas economías tenían niveles similares de gasto en investigación y desarrollo en la década de 1980, pero con políticas de innovación muy distintas. Asimismo, Freeman señala la divergencia entre los países de América Latina y los del Este Asiático, que, aunque ambas fueron considerados nuevas economías industrializadas en los años ochenta, tomaron trayectorias muy diferentes hacia finales del siglo XX y en la actualidad.

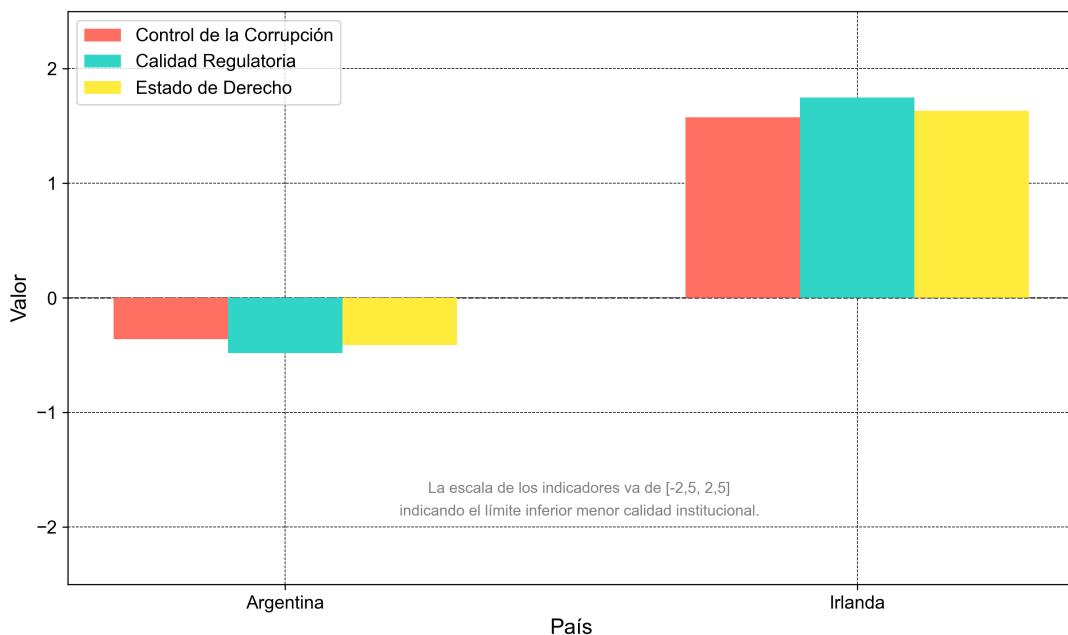


Figura 3: Comparación de indicadores institucionales Argentina e Irlanda para el 2023.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de World Bank (2024c), *The World Governance Indicators* (WGI).

Si bien se ha estudiado ampliamente la relación entre “calidad institucional” e innovación, existe una limitada evidencia sobre si estos efectos se manifiestan de manera uniforme en todas las industrias. La mayor parte de la literatura empírica en este ámbito se enfoca en el paradigma evolucionista, pero con frecuencia omite las diferencias en los procesos de innovación a nivel sectorial. No obstante, estudios fundamentales como los de Dosi (1982, 1988), Nelson y Winter (1982) y Winter (1984) subrayan la importancia de considerar estas diferencias.

Este trabajo tiene como objetivo ampliar la evidencia empírica sobre los efectos de la calidad institucional en la innovación y sus diferencias entre industrias. Para ello, la investigación se fundamenta en dos enfoques teóricos: una extensión del modelo evolutivo de Winter (2004), que permite comprender las motivaciones empresariales para innovar, y una ampliación del marco de Tebaldi y Elmslie (2006), orientada a evaluar los efectos macroeconómicos de las instituciones.

Metodológicamente, para evaluar empíricamente los efectos, se empleó una

estimación econométrica mediante el método generalizado de momentos. Para ello, se hizo uso de datos de panel de 39 países para el período 2014-2020, determinado por la disponibilidad de datos. Asimismo, se incorporaron los índices de gobernabilidad del *World Bank* y el índice de seguridad de la propiedad privada del *Economic Freedom of the World*, con el objetivo de medir la calidad institucional de los países. Finalmente, se resaltaron los posibles sesgos de selección y problemas de endogeneidad, los cuales se abordan mediante estrategias adecuadas de estimación.

Este estudio aporta evidencia empírica sobre el papel de las instituciones en la dinámica del cambio tecnológico y sus efectos diferenciados entre sectores. Para ello, la investigación se ha estructurado de la siguiente manera: el primer capítulo presenta el marco teórico, abordando la evolución de las teorías del crecimiento, la “localización” del conocimiento y el papel de las instituciones en la economía. El segundo capítulo desarrolla en detalle el modelo teórico que explica esta relación a nivel microeconómico. Posteriormente, el tercer capítulo examina la relación a nivel macroeconómico. En el cuarto capítulo presenta la revisión literaria, describiendo los antecedentes más relevantes en este campo. El quinto capítulo detalla la metodología empleada para estimar el efecto de la calidad institucional sobre la innovación, con énfasis en distintos campos tecnológicos. La sección siguiente discute los resultados obtenidos, evaluando su consistencia con las hipótesis planteadas y su relación con la literatura existente. Finalmente, la última sección de este trabajo está dedicado a las conclusiones, donde se sintetizan los principales hallazgos y sus implicancias. Además, la tesis incluye anexos específicos para cada sección (microeconómica, macroeconómica y econométrica) con información complementaria pertinente a cada una.

CAPÍTULO I

Marco Teórico.

Capítulo 1: Marco Teórico

1.1. El desarrollo de la teoría del crecimiento: La innovación como eje central

La teoría del crecimiento económico tuvo su apogeo en 1956 con el modelo de crecimiento de Solow (1956). Este modelo estableció las bases para entender los mecanismos que impulsan el crecimiento a largo plazo, fundamentándose en la función de producción neoclásica y tratando a la tecnología como un bien público puro. En este marco, el supuesto de información perfecta—central en el paradigma neoclásico—implicaba la libre disponibilidad del conocimiento tecnológico, asimilando la información y el conocimiento como conceptos equivalentes (Dosi, 1995b).

De esta manera, la perspectiva neoclásica trató al cambio técnico como un “factor exógeno” y sostuvo que las diferencias en el crecimiento entre países se debían principalmente a la variabilidad en el capital físico inicial. Consecuentemente, dado el supuesto de rendimientos decrecientes a escala, era solo cuestión de tiempo que todas las economías convergieran hacia una misma trayectoria de crecimiento. Esto implicaba que todas adoptarían de manera homogénea la “mejor tecnología” y el nivel de factores “óptimo”, alcanzando así tasas de crecimiento similares, independientemente de su nivel de desarrollo.

En la estimación empírica, la tecnología quedaba representada como un residuo, es decir, la parte del crecimiento económico que no podía ser explicada por los factores de producción tradicionales, como el capital físico y el capital humano. De este modo, dicho término englobaba todos los efectos no capturados por la teoría, los cuales no necesariamente estaban vinculados a la innovación. Sin embargo, la hipótesis de convergencia fue desafiada por estudios empíricos, entre ellos Mankiw et al. (1992) y Jones (1997), que mostraron que el modelo no explicaba adecuadamente las diferencias de ingreso para los distintos países¹.

¹Bajo la ecuación “standard” según el modelo propuesto por Solow (1956).

Estos hallazgos, que desafiaron la visión neoclásica, impulsaron el desarrollo de modelos de crecimiento endógeno con el objetivo de explicar el “residuo de Solow”. La expansión de teorías alternativas centradas en la existencia de mercados no competitivos permitió una comprensión más profunda de los factores que afectan el crecimiento. Un ejemplo temprano es la propuesta de Arrow (1962), quien identificó la generación de externalidades a partir de la experiencia acumulada, conocida como “learning by doing” (aprender haciendo). En otras palabras, a partir de la experiencia las empresas y los trabajadores eran capaces de descubrir conocimiento y aumentar su eficiencia en el tiempo. Continuando con esta visión, Lucas (1988) también colocó énfasis en el capital humano y las externalidades que este generaba para la economía, argumentando que la inversión en educación y habilidades laborales potenciaban al crecimiento. En este sentido, el capital humano actuaba como un mecanismo de asimilación y procesamiento del conocimiento, permitiendo su aplicación efectiva en la producción. Estas hipótesis fueron respaldadas por trabajos como Mankiw et al. (1992) y Barro y Lee (1996).

El problema de la explicación detrás del residuo de Solow adoptó un nuevo paradigma ilustrado en el modelo Romer (1990) en el cual se destacaba la innovación tecnológica como factor central del crecimiento económico. Su modelo buscaba mostrar que las decisiones económicas² de las empresas no solo determinaban la producción, sino también la asignación de recursos hacia la creación y el desarrollo de *conocimiento* según los incentivos del mercado. Además, la existencia de externalidades positivas en la investigación, debido a su carácter de bien público, permitió explicar la acumulación continua de conocimiento y el avance tecnológico dentro de la visión neoclásica, como señala Grossman y Helpman (1994) al referirse a las “escaleras de calidad” (quality ladders).

En línea con la perspectiva de Romer, las contribuciones de Schumpeter (1934)³

²La introducción de la tecnología como resultado de una decisión deliberada de los agentes económicos encuentra sus inicios en el trabajo de Nordhaus (1969).

³The Theory of Economic Development de Schumpeter fue publicado por primera vez en 1911 en alemán. En 1934, se presentó la (tercera) versión más conocida de la obra traducida

ya habían destacado el papel esencial de la innovación en el crecimiento económico, pero eliminando algunos supuestos neoclásicos como la información perfecta y la necesidad de un equilibrio. Schumpeter introdujo el concepto de “destrucción creativa”, en el que las nuevas innovaciones reemplazan a las tecnologías y métodos anteriores, generando así el progreso económico. Este proceso se centró en la competencia entre empresas que buscan innovar constantemente para “ganar el mercado”, alejándose de la noción de la tecnología como bien público puro⁴ (Lundvall et al., 2002). En otras palabras, parte del conocimiento permanece únicamente dentro de la empresa.

De esta forma, desde la perspectiva evolucionista, los conceptos de información y conocimiento se distinguen claramente. El conocimiento no solo implica la mera obtención de información, sino que también concierne a las habilidades preexistentes de un individuo para interpretar y “decodificar” esa información. Esto supone que tanto su difusión como su uso no son automáticos ni inmediatos, a diferencia de la visión neoclásica. Al reconocer que el desarrollo tecnológico no ocurre de manera uniforme, se introdujo inevitablemente heterogeneidad en la acumulación y aplicación del conocimiento entre empresas. Esta diferenciación, en contraste con la visión ortodoxa, permitió explicar las disparidades en los resultados económicos.

Aunque el modelo original carecía de formalización matemática, Aghion y Howitt (1992) retomaron la perspectiva schumpeteriana e integraron esta visión en un modelo de crecimiento endógeno. En este, la innovación es impulsada por la dinámica de los mercados imperfectamente competitivos. Esta nueva visión introdujo incertidumbre en los modelos de crecimiento, considerando la existencia de un proceso aleatorio en la determinación de los beneficios de las firmas, lo que también implicó concebir el crecimiento como una variable estocástica.

Por un lado, el enfoque neoclásico privilegia los aspectos cuantitativos y se desinteresa por los factores cualitativos que modelan la dinámica económica al inglés, lo que amplió su alcance.

⁴Schumpeter (1947) señaló que las demás empresas tardan en imitar la nueva tecnología, por lo que, por un periodo el “método” es exclusivamente del innovador.

(Nelson, 1994). En contraposición, la perspectiva evolucionista sostiene que las reglas formales e informales no solo estructuran los incentivos económicos, sino que también condicionan la capacidad de generar y adoptar conocimiento en una economía. De esta forma, el estudio del crecimiento económico ha pasado de una visión determinista a una comprensión más matizada, en la que la tecnología se concibe tanto como un resultado como un determinante del proceso de desarrollo económico.

Las siguientes secciones tienen como propósito profundizar en estos paradigmas económicos, analizando en detalle la influencia de la innovación y las instituciones en la dinámica económica.

1.2. Paradigma Evolucionista

El paradigma neoclásico ha dominado gran parte del análisis económico moderno, caracterizándose por su énfasis en el equilibrio, la optimización racional y la asignación eficiente de recursos en mercados competitivos. Sin embargo, este enfoque ha sido cuestionado desde distintas perspectivas, en particular por la economía evolucionista, que sostiene que las economías deben entenderse como sistemas dinámicos en constante cambio y desarrollo, y no como estructuras estáticas que oscilan en torno a un equilibrio. Esta visión tiene sus raíces en Marshall, quien ya reconocía la importancia de evaluar a la economía como un proceso dinámico.

Uno de los principales cuestionamientos al paradigma neoclásico proviene del supuesto de racionalidad perfecta. En la práctica, los actores económicos no poseen información completa ni tienen capacidades ilimitadas de procesamiento, lo que hace que sus decisiones se aparten sistemáticamente del modelo de optimización neoclásico (Dosi, 1995b; Nelson & Winter, 1982). En su lugar, como propone Simon (1955), la racionalidad emerge como un proceso dinámico de aprendizaje. De esta forma, tanto los individuos como las organizaciones recurren a reglas prácticas (heurísticas) y ajustan sus expectativas para tomar decisiones “suficientemente buenas”, en lugar de seguir un comportamiento estrictamente optimizador. Esta idea ha sido respaldada por

la economía del comportamiento, como lo demuestra Kahneman (2011), quien demuestra que las decisiones económicas están sujetas a sesgos cognitivos y heurísticas que limitan la racionalidad individual.

Otro punto clave en la crítica evolucionista es el papel de las instituciones en la configuración de la actividad económica. Esta idea se remonta a Adam Smith, quien destacó la importancia de las normas y reglas emergentes en los mercados para coordinar el comportamiento de los agentes. A su vez, este paradigma reconoce la diversidad de comportamientos entre actores económicos que operan en entornos similares (Nelson, 2020), lo que permite explicar de manera más precisa las diferencias en el desempeño de las firmas. Las firmas, por ejemplo, no responden de manera homogénea a cambios en el mercado; su desempeño depende de su historia, capacidades organizativas y procesos de aprendizaje.

En este contexto, la economía evolutiva enfatiza el proceso de selección como un mecanismo fundamental en la dinámica económica. De manera análoga a la biología evolutiva, donde los genes se seleccionan a través de la interacción de los fenotipos con el entorno, en la economía las firmas y sectores enfrentan un proceso de selección en el que tanto las estructuras establecidas como las innovaciones emergentes compiten por su supervivencia. En esta rama, existen tres enfoques predominantes sobre cómo ocurre la evolución en los sistemas: el creacionismo, el lamarckismo y el darwinismo. Estos enfoques ofrecen diferentes perspectivas sobre cómo las características y estructuras de los organismos, y por extensión de las firmas, se modifican y se transmiten con el tiempo.

Desde la perspectiva lamarckiana⁵, el proceso de evolución, tanto de organismos vivos como de firmas, está influido por la forma y organización de estos (Lamarck, 1986, p. 167). Según este enfoque, los organismos se adaptan a su entorno y las mutaciones resultan del uso o desuso de características, transmi-

⁵Ver Lamarck (1986) *Filosofía Zoológica* Capítulo VII: “De la influencia de las circunstancias sobre las acciones y los hábitos de los animales y la de las acciones y los hábitos de estos cuerpos vivientes como causas que modifican su organización y sus partes”. Escrito originalmente en francés en 1809.

tiéndose a las generaciones siguientes. En contraste, el darwinismo⁶ sostiene que las mutaciones ocurren de manera aleatoria, sin una adaptación consciente al entorno. Así, el resultado de la evolución se debe a una acumulación de selección natural, “eliminando lo que es malo y preservando y agregando lo que es bueno” (Darwin, 2001, p. 82). Por otro lado, el creacionismo plantea que el diseño de los organismos es deliberado; aunque este argumento se descarta desde el punto de vista biológico, al suponer un ente divino que determina la forma, recupera relevancia en el diseño organizacional, donde la construcción racional siempre está presente al definir la estructura y el propósito de las firmas.

En este sentido, como señalan Douma y Schreuder (2017), la evolución económica guarda mayor afinidad con los enfoques creacionista y lamarckiano que con el darwiniano⁷. Mientras que en la biología darwiniana las mutaciones son aleatorias y la selección natural determina qué especies prosperan, en la economía los cambios suelen estar impulsados por el deseo deliberado de mejorar. Las firmas y otros actores económicos pueden identificar oportunidades, experimentar con nuevas estrategias y, si encuentran una mejor manera de operar, adoptarla efectivamente (Nelson, 2020). Esta capacidad de adaptación estratégica introduce una dimensión de aprendizaje en la evolución económica, de modo que el proceso no sea simplemente el resultado de presiones externas, sino de la interacción entre innovación, selección y la acción deliberada de los agentes económicos.

Aunque no se explice en todos los casos, la analogía entre la evolución económica y los enfoques creacionista y lamarckiano subyace a la argumentación de esta y la siguiente sección (1.2 y 1.3), especialmente en lo referido a la dinámica del conocimiento, la evolución de las reglas e instituciones y el desarrollo de los paradigmas tecnológicos.

⁶Ver Darwin (2001) *On the Origin of Species* Capítulo IV: “Natural Selection”. Escrito en 1859.

⁷Vale la pena mencionar al enfoque de la ecología de las organizaciones propuesto por Hannan y Freeman, en el que el proceso de evolución se asocia más al darwinismo. Este enfoque resulta particularmente aplicable a la competencia interindustrial más que a la intra-industrial(Douma & Schreuder, 2017). Ver Hannan y Freeman (1977).

1.2.1. ¿Dónde reside el conocimiento?

⁸ Uno de los mayores aportes de Schumpeter (1934) a la teoría de la innovación fue su conceptualización como la reorganización de elementos existentes en una “nueva configuración” (p. 65). Por lo tanto, bajo esta concepción, puede definirse a la tecnología como el conjunto de procedimientos o de “métodos” para producir algo, como, por ejemplo, las estrategias utilizadas para abordar un problema dentro de una organización.

Sin embargo, esta visión no entiende a la innovación únicamente como la generación de conocimiento explícito acerca de como llevar a cabo un proceso; sino, también como la integración del conocimiento tácito de los agentes económicos, siguiendo la definición propuesta por Polanyi (1998), lo que da lugar a nuevas técnicas, productos, mercados o formas de organización (Lundvall, 2010). Un ejemplo sencillo de tecnología podría plantearse con el caso de un panadero y su receta; aunque la receta pueda codificar los ingredientes y pasos, la destreza del panadero en su ejecución—su conocimiento tácito—también configura el resultado final. De esta forma, el conocimiento reside tanto en los procedimientos operativos y rutinas organizativas que estructuran la actividad productiva (Dosi, 1995b), como en las habilidades y competencias de los individuos para su implementación efectiva (Nelson & Winter, 1982).

Por lo tanto, a diferencia de lo que comúnmente se piensa, el conocimiento y su transmisión no están restringidos a las universidades, ni son homogéneos incluso dentro de ellas; más bien, dependen de los diversos grupos que interactúan en su interior (Simon, 1991). En consecuencia, el conocimiento se encuentra distribuido entre el conjunto de actores económicos.

Desde el punto de vista neoclásico, se asume que el mecanismo de precios es suficiente para que el conocimiento pueda ser “utilizado” sin necesidad de que resida en una única persona (Hayek, 1945). Esto implica que la institución del mercado es capaz de transmitir todo el conocimiento de la sociedad. De forma tal, que el conocimiento se vuelve accesible y aprovechable para todos

⁸Nelson y Winter (1982) plantean esta pregunta en la segunda parte de su libro, *Part II: Organization-Theoretic Foundations of Economic Evolutionary Theory*.

los individuos, aún cuando estos no son conscientes de su existencia y sin importar cómo se encuentra distribuido.

Sin embargo, esta visión contrasta con la realidad, ya que, al eliminar el supuesto de información perfecta y racionalidad ilimitada, emergen situaciones que desafían su validez. Por ejemplo, volviendo al caso del panadero, parte de su accionar incluido en sus rutinas de producción no puede ser ni definido ni transmitido, ni siquiera por el mismo. La dificultad de transferir este tipo de conocimiento—el conocimiento tácito—se debe, como señala Polanyi, a tres razones principales: en primer lugar, su transferencia suele requerir un proceso prolongado de aprendizaje; en segundo, el reconocimiento de dicho conocimiento no siempre es inmediato; y en tercero, en muchos casos, su naturaleza implícita impide articularlo de manera clara y rápida, o simplemente resulta costoso hacerlo. No obstante, este tipo de conocimiento obtenido a partir de la práctica, puede llegar a ser compartido entre “colegas” en base a la experiencia común (Dosi, 1988).

Asimismo, parte del conocimiento futuro del panadero depende de lo que ya ha aprendido, y su racionalidad queda limitada por las reglas que gobiernan la propia organización (Simon, 1991). En este sentido, existe un costo asociado tanto a la *transmisión* como a la *asimilación* del conocimiento, lo que contrasta con la visión neoclásica que supone una transferencia de información perfecta y sin fricciones.

Siguiendo con el ejemplo planteado, bajo la visión ortodoxa, se esperaría que el panadero ajuste su producción de inmediato, modificando ingredientes por sustitutos o reajustando procesos, ante una variación en los precios. Sin embargo, existen costos de coordinación. En la práctica, este cambio no es automático, ya que gran parte del conocimiento involucrado en la producción—como la técnica para lograr una textura específica o el manejo del tiempo de fermentación con el nuevo método—es tácito y no puede adquirirse de manera inmediata, sino que requiere un proceso de aprendizaje basado en la práctica. Como resultado, cualquier intento de ajuste implicaría costos, no solo en términos de prueba y error para verificar si la nueva receta funciona, sino también en la necesidad de transmitir estos cambios a los trabajadores y

evaluar la aceptación de los clientes. Además, estos ajustes también podrían alterar las reglas sociales asociadas a la reputación entre panaderos—como las recomendaciones sobre qué panaderías visitar o evitar—, las cuales influyen en la elección de los consumidores.

De esta forma, las reglas de producción no solo facilitan la coordinación interna de la panadería—al definir quién toma decisiones, qué recomendaciones seguir, quién ocupa el rol de panadero maestro—, sino que también crean un acuerdo implícito entre el panadero y los consumidores, influyendo en otras reglas sociales. Por lo tanto, las reglas internas y externas generan valor y costo de manera conjunta, que no son completamente capturado por el sistema de precios.

En este sentido, a diferencia de la visión de Hayek, la distribución del conocimiento en la sociedad adquiere un papel central, no solo como un factor que incide en la eficiencia de los procesos productivos, sino también como un elemento condicionado por el entorno institucional y las interacciones entre los actores económicos. Por lo tanto, aunque el conocimiento exista, este no siempre está disponible, incluso dentro de una misma organización (Dosi, 1995b; Simon, 1991).

De este modo, resulta inviable concebir la tecnología como un bien público puro, ya que su adopción y difusión dependen no solo de su disponibilidad, sino también de la capacidad de los actores económicos para asimilar y aplicar el conocimiento subyacente. Esto refuerza la distinción entre información y conocimiento, destacando que la mera existencia de información accesible no garantiza su plena utilización en los procesos productivos.

1.2.2. Paradigmas y trayectorias tecnológicas

Dentro de las primeras teorías de innovación, la tecnología era concebida a partir de una perspectiva lineal. Schumpeter (1934) sostiene que la innovación es un proceso impulsado por la oferta (technology push), en el cual los avances tecnológicos surgen de la inversión en investigación y desarrollo. En este enfoque, la secuencia sigue un curso predefinido: primero ocurre la in-

vención y, posteriormente, los emprendedores aprovechan ese conocimiento para introducir innovaciones en el mercado. Un ejemplo clásico de este modelo es el descubrimiento de la electricidad y su posterior aplicación en diversas industrias, donde la base de ese conocimiento se origina en avances previos en los campos de la física.

En contraste, Schmookler (1966) propone un enfoque basado en la demanda (“*demand pull*”), argumentando que las necesidades del mercado actúan como el principal motor del cambio tecnológico. Es decir, las firmas dedican recursos a innovar en productos o mercados en los cuales identifican oportunidades, según las *señales* que reciben del mercado. Sin embargo, ambas miradas limitan la complejidad del proceso innovador (Cimoli & della Giusta, 1998; Dosi, 1988).

Dosi, por lo tanto, sostiene que el concepto es mucho más amplio al introducir la noción de *paradigmas tecnológicos*. Estos paradigmas representan un conjunto de principios y reglas que orientan la resolución de problemas tecnoeconómicos dentro de una industria, definiendo qué tipos de innovaciones son viables y cómo deben desarrollarse. Además, incluyen estrategias para generar nuevo conocimiento y, en la medida de lo posible, restringir su difusión entre competidores (Dosi, 1988). Así, la evolución tecnológica no se reduce a un modelo *technology push* o *demand pull*, sino que responde a dinámicas más complejas, donde influyen tanto las capacidades acumulativas de las firmas como las restricciones impuestas por el propio paradigma tecnológico. Cada industria—química, eléctrica, mecánica—desarrolla su propio enfoque para la innovación, basado en sus respectivos principios científicos y tecnológicos y en su conocimiento tácito. Por ejemplo, en la industria aeronáutica, el paradigma tecnológico define un avión no solo por sus costos e insumos, sino también por atributos como la carga alar, el peso de despegue, la velocidad y el alcance (Cimoli & della Giusta, 1998). Por lo tanto, es claro que en este proceso el aprendizaje experimental juega un papel central, manifestándose de diversas formas, como *learning by doing* (Arrow, 1962), *learning by using* (Rosenberg, 1983) y *learning by interacting* (Lundvall, 1988).

Consecuentemente, las trayectorias tecnológicas—el patrón de actividad nor-

mal de un paradigma (Dosi, 1982)—siguen una dirección de innovación restringida por las limitaciones inherentes a este. Esto da lugar a dos características esenciales: la innovación como un proceso *local* y *acumulativo*. Siguiendo a Cimoli y della Giusta (1998), esto implica que el descubrimiento de nuevo conocimiento está estrechamente relacionado (próximo) al conocimiento ya adquirido y, a su vez, se construye sobre la experiencia pasada. Es por ello que se presenta la noción de “path dependency”, es decir, la dependencia de las decisiones previas en el proceso de innovación que condicionan las opciones y el desarrollo futuro, ya sea facilitando la continuidad de ciertos desarrollos o restringiendo la adopción de alternativas (Arthur, 1989; David, 1985). Dicho de otro modo, la historia importa. Como ilustra David (1985) con el caso del teclado QWERTY, muchas innovaciones perduran no porque sean óptimas, sino debido a restricciones históricas y costos de cambio. La disposición de teclas QWERTY se diseñó originalmente para evitar atascos en las máquinas de escribir, pero, a pesar de la existencia de configuraciones más eficientes—como el teclado Dvorak—, su adopción masiva y el aprendizaje acumulado han perpetuado su uso, reflejando cómo las decisiones pasadas pueden condicionar el desarrollo tecnológico futuro.

En consecuencia, la manera en que las firmas derivan soluciones y rutinas a distintos problemas está profundamente influenciada por la información obtenida de experiencias y el conocimiento formal acumulado sobre ellas (Dosi, 1988). De esta forma, cuando un patrón exitoso de resolución de problemas se consolida, este se institucionaliza en rutinas que facilitan la toma de decisiones, reducen la complejidad del proceso innovador y se integran al paradigma tecnológico, como Cimoli y Della Giusta destacan. Sin embargo, cuando estas rutinas se vuelven ineffectivas o enfrentan restricciones, los administradores se ven obligados a iniciar procesos de deliberación consciente para modificarlas (Nelson, 2020).

De esta manera, las firmas se encuentran inmersas en un proceso constante de innovación y variación de sus rutinas, lo que genera una dinámica de competencia por la supervivencia dentro del mecanismo de selección (Douma & Schreuder, 2017). Este mecanismo, impulsado por la lógica de la competen-

cia capitalista, favorece las tecnologías que resultan más “adecuadas” a las condiciones del entorno organizacional en un momento dado. Como resultado, las firmas que logran adaptarse de manera más efectiva a las condiciones del entorno tienden a expandirse, mientras que aquellas con modelos menos rentables enfrentan un proceso de contracción hasta su desaparición. Así, el proceso de selección se internaliza en el modelo, donde el éxito de una rutina se mide por su capacidad para garantizar su supervivencia en la industria (Nelson & Winter, 1982).

Sin embargo, el mecanismo de selección no siempre premia a la tecnología más eficiente, permitiendo la expansión de aquellas firmas cuya tecnología resulta suficientemente viable dentro de un entorno competitivo específico. De este modo, ocurren situaciones en las que algunas tecnologías “subóptimas” persisten debido a factores como la adopción temprana aprovechando las ventajas iniciales (*First mover advantage*) (Douma & Schreuder, 2017). Un ejemplo claro de esto, como ya se analizó, es el caso del teclado QWERTY. Consecuentemente, el mecanismo de selección puede conducir a equilibrios de *lock-in* tecnológico, como propone Arthur (1989), donde una tecnología persiste no porque sea la más eficiente, sino debido a las barreras creadas por su adopción inicial, lo que dificulta la entrada de alternativas más competitivas. Por ende, el proceso de selección y la evolución tecnológica están marcados por dinámicas complejas, en las que las firmas mutan, se seleccionan y retienen acumulativamente rutinas, todo ello condicionado por decisiones pasadas y las condiciones prevalentes (Douma & Schreuder, 2017). Así, el mecanismo de selección configura las trayectorias tecnológicas, las cuales, a su vez, condicionan dicho proceso a través de las reglas y principios establecidos por su paradigma tecnológico.

1.2.3. Formalización y estimación de la tecnología en los modelos económicos

Aunque las ideas evolucionistas se integran en el modelo de Aghion y Howitt, como se mencionó anteriormente en la sección 1.1, estos modelos no

logran captar la innovación como un proceso inherentemente complejo, impredecible y ubicuo⁹ (Lundvall, 2010; Lundvall et al., 2002). En parte, esto se debe a que los modelos económicos ortodoxos conciben la tecnología como un conjunto de instrucciones detalladas y explícitas, destacando su naturaleza codificable (Nelson & Winter, 1982). Sin embargo, esta visión omite un aspecto crucial: el conocimiento tácito, que reside en las habilidades individuales necesarias para crear nuevas configuraciones.

El tratamiento de la tecnología exclusivamente como conocimiento explícito lleva a suponer que basta con generar “planos detallados” que contengan “todo lo que se necesita saber” (Nelson & Winter, 1982, p. 60). Esta visión refleja un enfoque lineal de la economía, centrado en el concepto de *technology push*, que ignora las dinámicas complejas y las interacciones entre los actores económicos, sugiriendo implícitamente que la tecnología “cae del cielo” (Winter, 2004, p. 363) o simplemente debe ser descubierta. Este enfoque, al limitarse a la relación entre la empresa innovadora y el comprador directo, no considera las influencias y retroalimentaciones de otros agentes.

No obstante, el análisis de la tecnología como algo codificable ha permitido avances significativos, facilitando la medición de ciertos aspectos de la innovación y su impacto en el crecimiento económico. En este sentido, estudios como los de Schmookler (1966), Crosby (2000), y Griliches (1979) y Griliches y Mairesse (1983) han utilizado el número de patentes como un indicador “suficiente” del nivel de innovación (Schmookler, 1966, p. 26).

Sin embargo, tomando como base la definición de innovación de Schumpeter, es crucial reconocer que estas mediciones son imperfectas y, en muchos casos, subestiman el verdadero grado de innovación. Esto es especialmente cierto en los países del “sur”, donde la innovación está profundamente integrada en las actividades cotidianas de las empresas y en las competencias de las personas comunes (Lundvall et al., 2002). Por ejemplo, el conocimiento gene-

⁹Cabe destacar el modelo de Arrow de “learning by doing”, el cual hemos mencionado en secciones anteriores. No obstante, este enfoque trata la innovación exclusivamente como un atributo inherente a los trabajadores, sin considerar la interacción con otros agentes económicos ni el entorno institucional.

rado por un agricultor sobre las técnicas de riego de sus cultivos, adquirido a través de la observación de los patrones climáticos a lo largo de varias temporadas, es un tipo de innovación que no puede ser patentado, pero que, sin embargo, tiene un impacto significativo en la productividad. No obstante, como se discutió en la sección 1.2.1, la dificultad de cuantificar el conocimiento tácito limita la posibilidad de desarrollar métricas más precisas.

1.3. Paradigma Institucionalista

Sin la consideración de las instituciones, la economía neoclásica describe un sistema de intercambio que ocurre en el vacío, donde “los consumidores carecen de humanidad, las empresas no tienen estructura organizativa y los mercados son abstractos” (Coase, 1988, p. 3). En este sentido, el institucionalismo se opone a la visión neoclásica argumentando que las instituciones juegan un papel fundamental en la configuración de la economía.

Aunque autores clásicos como Smith, Mill y Marx ya habían reconocido la importancia de las instituciones en la sociedad, el desarrollo formal de la teoría institucional tuvo lugar más tarde (Espino, 1999). En 1918, Walton H. Hamilton acuñó el término “teoría institucional” y destacó la necesidad de estudiar la economía a partir de las normas y reglas que rigen la conducta económica (Hodgson, 2004). Durante la primera mitad del siglo XX, la escuela institucionalista estadounidense, con figuras como Wesley Mitchell, John Maurice Clark y Thorstein Veblen, se enfocó en el estudio de la evolución institucional y su impacto en el sistema económico. En particular, Veblen, influenciado por el darwinismo, sostenía que la economía debía analizarse desde una perspectiva evolucionista (Hodgson, 2004). Sin embargo, esta corriente fue criticada por su falta de formalización y su carácter “anti-teórico” (Coase, 1984, p. 230). Aunque el institucionalismo clásico tuvo una notable influencia durante la primera mitad del siglo XX, perdió protagonismo con el auge de la economía neoclásica formalizada luego de la Segunda Guerra Mundial. No obstante, a partir de la segunda mitad del siglo XX, surgió el neoinstitucionalismo, desarrollado por autores como Coase, Williamson y North, quienes introdujeron un

marco analítico más riguroso para estudiar el papel de las instituciones en la eficiencia económica. Mientras los primeros dos se centraron en los efectos a nivel de firma, North expandió el análisis a entornos institucionales más amplios (Ménard & Shirley, 2014). A diferencia del institucionalismo clásico, el neoinstitucionalismo integró las instituciones dentro del marco de la teoría económica estándar, permitiendo su análisis en términos de incentivos y eficiencia.

En este sentido, a diferencia de la escuela evolucionista, el institucionalismo no niega que los consumidores busquen maximizar su función objetivo, pero enfatiza que las instituciones restringen y estructuran el conjunto de opciones disponibles. Empero, esta perspectiva también fue replanteada por los propios neoinstitucionalistas, como Coase, quien argumentó que no hay forma de suponer que la mayoría de los individuos se comprometen a “maximizar su utilidad”¹⁰.

A partir de esta evolución teórica, el estudio de las instituciones se ha consolidado como un campo central dentro de la economía, con importantes implicaciones tanto teóricas como empíricas. En este marco, diversos enfoques han contribuido a comprender su papel en el sistema económico, contexto la escuela de los derechos de propiedad, impulsada por Alchian y Demsetz, y la economía de la información, con autores como Stiglitz y Akerlof, entre otros (Espino, 1999). Asimismo, el análisis institucional se ha enriquecido con aportes desde el derecho, permitiendo una visión más integral de la interacción entre normas formales e informales y su impacto en la economía.

1.3.1. ¿Qué son las instituciones?

El término “institución” suele asociarse con organizaciones como industrias, universidades o establecimientos. No obstante, uno de los trabajos más influyentes sobre el papel de las instituciones en la economía es el de North (1990), quien las define como “las reglas de juego” que estructuran los incentivos y el comportamiento de los agentes económicos. De esta forma, las ins-

¹⁰Ver Coase (1988, p. 4) *The Firm, the Market and the Law*.

tituciones se diferencian de los jugadores y constituyen las restricciones que estos enfrentan (Aoki, 2001b). Dichas reglas pueden clasificarse en formales, como leyes y regulaciones, e informales, expresadas en normas sociales, valores y convenciones, dependiendo de su origen.

Sin embargo, la definición de instituciones es incompatible con la visión neoclásica. Reconsiderando a Hayek (1945), se supone que el sistema de precios es inherentemente eficiente, lo que implicaría que la coordinación dentro de una organización estructurada no sería necesaria. No obstante, la existencia misma de las firmas desafía esta visión, tal como lo plantea Coase (1937). Por lo tanto, ¿por qué los individuos deciden acotar las posibilidades de elección a través de firmas, en lugar de realizar todas las transacciones en el mercado? La existencia de firmas solo puede explicarse si el uso del sistema de precios implica un costo adicional, es decir, si existen costos de transacción que dificultan la coordinación exclusiva mediante del mercado.

Si retomamos el ejemplo del panadero de la sección 1.2.1, en su momento aludimos a las *reglas sociales* y a los *costos del uso del mecanismo de precios*, como los costos de coordinación, asimilación y adaptación del conocimiento. Estos conceptos corresponden directamente a lo que Coase (1937) refiere como costos de transacción e instituciones.

Por lo tanto, los costos de transacción pueden reducirse parcial o totalmente mediante la adopción de reglas adecuadas, es decir, reglas que faciliten la coordinación y minimicen las fricciones. Volviendo al caso del panadero, si no produce suficiente pan, en lugar de comprar a proveedores externos para revender, podría contratar empleados para ayudar en la producción. De este manera, al implementar esta regla dentro de su firma, reduciría los costos de negociar y supervisar a proveedores externos, ganando más control sobre el proceso y la calidad del producto.

No obstante, ahora podríamos plantear la pregunta inversa, ¿por qué existe el mercado y no se realiza todo a partir de reglas dentro de las organizaciones? Es claro que ambos sistemas, el mercado y las instituciones, tienen costos de uso asociados, y que en determinadas circunstancias, uno de estos sistemas puede generar un costo total menor que el otro. Así, en el margen, el costo de

utilizar el sistema de precios y el costo de establecer y hacer cumplir reglas, en este caso dentro de la firma, se equiparan; determinando la frontera óptima entre el mercado y las instituciones (Coase, 1988, p. 7).

Los costos de transacción suelen asociarse principalmente con la asimetría de información, que da lugar a problemas como la selección adversa y el riesgo moral, los cuales generan costos de coordinación y de motivación según Milgrom y Roberts (1992). Un ejemplo clásico es el análisis de Akerlof (1970) sobre el mercado de autos usados, donde los compradores enfrentan costos para distinguir entre un vehículo en buen estado y un “limón”. No obstante, como se ilustró en el ejemplo del panadero, es imposible desvincular el paradigma evolucionista del institucional. Así, la transmisión del conocimiento implica costos que pueden ser mitigados a través de buenas reglas. En este sentido, las reglas no solo imponen restricciones al comportamiento individual, sino que también estructuran y condicionan la transmisión de información y conocimiento (Aoki, 2001b).

Las buenas instituciones, tanto formales como informales, cumplen un papel central en la estructuración de las interacciones económicas, facilitando la ejecución de acuerdos entre agentes y reduciendo los costos de transacción en la economía (Coase, 1937; Milgrom & Roberts, 1992). Su influencia, sin embargo, trasciende la mera coordinación, ya que también funcionan como marcos culturales que configuran la identidad y las expectativas de los agentes económicos, orientando la dirección del cambio tecnológico. Por ejemplo, durante la Revolución Industrial, las instituciones formales, como las leyes de patentes, coexistieron con normas informales que incentivaban la innovación y el espíritu emprendedor. Esta combinación generó un entorno propicio para el crecimiento económico, como se observó en Inglaterra durante la Primera Revolución Industrial y en Estados Unidos y Alemania en la Segunda (Freeman, 1995).

1.3.2. Sistema Nacional de Innovación

En este contexto, Lundvall (1988) introduce el concepto de Sistema Nacional de Innovación (SNI), enfatizando que la innovación no es un fenómeno aislado, sino el resultado de la interacción entre empresas, instituciones, universidades y el sector público. Siguiendo su definición, el SNI está compuesto por un conjunto de organizaciones interrelacionadas, cuya interacción da forma a la producción, difusión y aplicación de conocimiento nuevo y significativo dentro de una región determinada. Así, este conocimiento no solo se transmite, sino que también evoluciona mediante procesos de aprendizaje acumulativo y dinámicas de cooperación.

Por lo tanto, la dirección y la intensidad de la investigación en un determinado ámbito están condicionadas por los estímulos provenientes de la sociedad y la política. En otras palabras, la selección de la tecnología depende en gran medida de las condiciones económicas, sociales e institucionales. Un ejemplo ilustrativo de esta influencia es la divergencia observada en la estrategia de innovación de Japón y la Unión Soviética en la década de 1980. Mientras que Japón priorizó el desarrollo industrial, la URSS, en el contexto de la Guerra Fría, canalizó gran parte de su investigación hacia el ámbito militar y aeroespacial (Freeman, 1995). En consecuencia, las instituciones influyen en la generación, transmisión y apropiación del conocimiento, condicionando el desarrollo tecnológico y la capacidad de aprendizaje de los agentes dentro del sistema (Lundvall, 2010).

En este marco, como Metcalfe (1995) resalta, la matriz institucional cumple un rol central al definir las reglas, normas y convenciones que estructuran las interacciones entre los agentes del SNI. Esta configuración institucional incide directamente en la dirección del cambio tecnológico, estableciendo incentivos y restricciones que moldean las decisiones de innovación y condicionan la evolución del sistema en su conjunto (Johnson, 2010). Consecuentemente, como señala Johnson, cuando las instituciones no evolucionan al mismo ritmo que la tecnología, estas pueden convertirse en un obstáculo para el progreso. Retomando el ejemplo de la primera Revolución Industrial en Inglaterra, las

instituciones protegían los derechos de propiedad intelectual y fomentaban la competencia permitiendo un rápido avance tecnológico (Mokyr, 1990). En contraste, en otros países con instituciones más rígidas y menos adaptativas, el progreso tecnológico fue significativamente más lento.

En este sentido, la eliminación de restricciones impuestas por estructuras rígidas, como gremios o burocracias administrativas, puede facilitar la competencia y fomentar la innovación. La experiencia de Alemania tras la disolución de los gremios durante la ocupación francesa ilustra cómo la reducción de barreras institucionales ineficientes permitió la formación de un mercado más dinámico, con mayores incentivos para la innovación y el crecimiento económico (Donges et al., 2022).

Esto permite concluir que no se trata únicamente de las instituciones en sí mismas, sino de la calidad institucional, entendida como la capacidad de las instituciones para adaptarse y crear un entorno favorable para la innovación y el crecimiento económico. Como Baumol (1990) destaca, las “buenas” instituciones permiten canalizar el “espíritu emprendedor” hacia actividades productivas e innovadoras. Mientras que, ante la falta de un marco institucional adecuado, pueden llevar a actividades rentistas o incluso destructivas.

Por otro lado, la distinción entre las instituciones como reglas del juego y su relación con la tecnología no siempre es nítida. En muchos casos, las instituciones pueden entenderse como una forma de tecnología social, en el sentido de que estructuran la interacción entre agentes y optimizan el uso del conocimiento en la sociedad, tal como plantean Nelson y Nelson (2002). De hecho, la propia noción de sistemas de innovación es, por excelencia, una concepción institucional, ya que las reglas que estructuran el conocimiento y la innovación también son parte integral del proceso de cambio tecnológico y de la evolución económica.

1.3.3. La evolución de las instituciones

Para comprender la evolución de las instituciones, es fundamental responder la pregunta de cómo surgen en primer lugar. Si bien en muchos enfo-

ques las instituciones suelen considerarse como elementos “dados”, en realidad emergen y evolucionan de manera endógena a partir de la interacción estratégica entre individuos (Aoki, 2001b, p. 22). Desde esta perspectiva, el comportamiento repetido genera patrones de interacción que se traducen en convenciones, las cuales pueden entenderse como rutinas o, en otras palabras, formas de tecnología social.

De esta manera, las instituciones emergen como una respuesta para resolver los problemas dentro de los grupos sociales (Espino, 1999, p. 70). A través del comportamiento repetitivo, los individuos convergen hacia equilibrios en el sentido de Nash, donde sus decisiones, tomadas de manera individual y voluntaria, culminan en un acuerdo tácito con el resto de los miembros del grupo. En este proceso, se generan convenciones sociales, y las reglas e instituciones emergen y se consolidan de tal forma que ningún actor tiene incentivos para desviarse unilateralmente (Aoki, 2001a).

Sin embargo, existen instituciones que los individuos no demandan explícitamente, pero que son impuestas de alguna manera, ya sea por el Estado, autoridades externas o por normas emergentes dentro de un grupo social. Aunque no son resultado de una elección directa, estas instituciones son aceptadas y adoptadas por los miembros de la sociedad. Muchas veces, estas instituciones emergen a partir de la necesidad de resolver problemas colectivos o situaciones que los individuos no pueden abordar eficazmente de manera aislada, como los problemas de coordinación representados por el dilema del prisionero¹¹. En este contexto, aunque no todos los actores tengan inicialmente una preferencia por la regla impuesta, su cumplimiento se convierte en la mejor estrategia para todos, dada la estrategia del resto de los jugadores (Espino, 1999).

Un ejemplo clásico de convenciones es la norma de caminar siempre por la derecha (Alston et al., 2018). Sin embargo, en algunos lugares, aun cuando esta convención es conocida, no se obedece de manera sistemática. Esto sugiere que el cumplimiento de una regla no solo depende de su establecimiento, sino también de la existencia de mecanismos que garanticen su ejecución. Así,

¹¹Ver ejemplo Espino (1999) *Instituciones y Economía*, p. 86.

surge una cuestión central ¿hasta qué punto una regla llega a constituir una institución? Una de las claves radica en su capacidad de ser efectivamente aplicada. De lo contrario, una norma carece de sentido si no existen mecanismos para imponerla o hacerla cumplir.

Siguiendo esta lógica, las instituciones pueden ejecutarse a través de distintos mecanismos. Algunos son internos, como el cumplimiento voluntario por parte de los individuos debido a normas sociales internalizadas, la autoimposición de compromisos o las sanciones informales ejercidas por la comunidad. Otros son externos, como los mecanismos coercitivos impuestos por el Estado o entidades reguladoras, los cuales garantizan la ejecución de normas mediante sanciones explícitas y mecanismos de monitoreo (Voigt, 2017). Por lo tanto, una institución no puede ser ignorada por un individuo mientras el resto la siga acatando, pues su cumplimiento está respaldado por las creencias compartidas de la sociedad (Aoki, 2001a). Es decir, constituyen un equilibrio en el sentido de Nash.

Un ejemplo claro es la imposición de un precio máximo. Aunque su objetivo sea garantizar accesibilidad, si los incentivos no están alineados y los agentes prefieren desviarse hacia mercados paralelos, la norma pierde efectividad y no logra consolidarse como una institución.

Cuando una institución se establece, no permanece estática, sino que se transforma con el tiempo. Al igual que la tecnología, las instituciones se moldean a través de un proceso de variación, selección y retención de procedimientos exitosos (Douma & Schreuder, 2017; Lewis & Steinmo, 2012). Los individuos generan nuevas reglas, eligen estratégicamente entre distintos esquemas y, a menudo, replican comportamientos exitosos, como se analizó en la sección del paradigma evolucionista al abordar el proceso de generación de conocimiento. De esta forma, las instituciones evolucionan en el tiempo a través de cambios incrementales¹², donde existe un proceso de “selección natural” institucional, según la cual aquellas reglas e incentivos que generan

¹²Si bien pueden darse transformaciones institucionales abruptas, como las revoluciones, su consolidación ocurre gradualmente a medida que se cristalizan en las instituciones informales de la sociedad.

mejores resultados tienden a persistir, mientras que otros son modificados o desaparecen con el tiempo (Hodgson, 2004).

No obstante, es crucial considerar dos aspectos. Por un lado, la historia actúa como una restricción a nuevas tecnologías sociales, ya que las soluciones de equilibrio seleccionadas están fuertemente influenciadas por el contexto histórico. De esta manera, incluso bajo condiciones iniciales idénticas, pueden surgir múltiples resultados¹³. De manera similar a la distribución del conocimiento, en el ámbito institucional, la distribución del poder resulta crucial. La evolución de las instituciones depende, en gran medida, de la distribución de la autoridad formal y del poder efectivo en una sociedad (Dosi, 1995a). Por lo tanto, la modificación de las reglas del juego no ocurre en un vacío, sino dentro de un mercado político en el que actores con diferentes intereses negocian y compiten por influir en la redefinición de las normas existentes (North, 1990). Como señala Espino (1999), las instituciones informales permanecen en la memoria histórica de una sociedad. En consecuencia, la introducción de una regla externa puede entrar en conflicto con las normas y valores preexistentes, lo que dificulta su aceptación y efectividad. En esta línea, Voigt sostiene que las instituciones informales actúan como una restricción a los intentos de reforma de las instituciones formales, limitando la viabilidad de cambios institucionales impuestos desde fuera.

Por ende, si se preguntara por qué los países no simplemente imitan, adoptan y adaptan las instituciones de países desarrollados, la respuesta radica en que las instituciones no son independientes del contexto en el que surgen y evolucionan. Su incorporación depende en gran medida de la dinámica del mercado político. Asimismo, su funcionamiento y estabilidad dependen de qué tan aliñeadas estén con las normas informales y estructuras sociales preexistentes en cada sociedad.

¹³Ver modelo *shovelling snow* en David (2005).

CAPÍTULO II

Modelo Microeconómico.

Capítulo 2: Modelo Microeconómico

2.1. Introducción

Para comprender los incentivos que llevan a las empresas a innovar, es fundamental adoptar un enfoque microeconómico que permita identificar los patrones de comportamiento empresarial en distintas circunstancias.

Como se destacó en las secciones anteriores de este trabajo, el campo de la innovación ha sido un gran foco para el paradigma evolucionista de la economía neoclásica. Parte de ello, como señala Winter (1984), se debe a que la economía neoclásica hace énfasis en el conocimiento técnico con carácter público, lo cual no solo resulta en “contrafactual”, sino que también elimina el principal incentivo a innovar. En contraste, la visión evolucionista se ha orientado en modelar a la competencia empresarial como un proceso dinámico, impulsado por la búsqueda de innovación y estrechamente ligado a su entorno institucional.

Nelson y Winter (1982), Winter (1984, 2004) destacan que la capacidad de apropiación de los retornos generados por la innovación depende en gran medida de la existencia de mecanismos que permiten mantener al conocimiento en el ámbito “privado”, como es el caso de la protección mediante patentes. Según este argumento, en un contexto donde dicha protección sea limitada, la rápida imitación por parte de otras empresas podría llevar a una expropiación de los beneficios, lo que reduciría los incentivos a continuar innovando. Aunque, como Simon (1999) indica, sería ventajoso para la sociedad que todos los descubrimientos estuvieran disponibles sin restricciones, los derechos de propiedad pueden fomentar la inversión en innovación y llevar a un incremento en la eficiencia a largo plazo (Milgrom & Roberts, 1992; Winter, 2004).

Por consiguiente, esta sección del trabajo se dedicará a describir y simular el modelo presentado en Winter (2004). La elección de este modelo radica en que, además de basarse en los marcos teóricos desarrollados en trabajos previos de Nelson y Winter, aborda de manera explícita los efectos de las regulaciones sobre patentes. Esto permite integrar en el análisis los efectos de

las instituciones que protegen los derechos de propiedad, destacando cómo éstas pueden incentivar la innovación al asegurar beneficios económicos para los innovadores.

Sin embargo, es necesario reconocer que su alcance es limitado, ya que no considera plenamente el papel de otras instituciones que complementan el proceso innovador. Como se observa en el modelo macroeconómico de Tebaldi y Elmslie (2006), y en línea con lo señalado por Lundvall (2010) y Nelson (1994), las instituciones no solo son esenciales para generar incentivos en la etapa previa a la innovación, sino también para facilitar la adopción y difusión de nuevas tecnologías. En este sentido, su rol en la etapa post-innovación resulta clave para garantizar que las tecnologías desarrolladas se integren efectivamente al sistema productivo, impulsando el progreso tecnológico y el crecimiento económico.

Para abordar parte de estas deficiencias, se propone incorporar el papel de las instituciones en dos instancias clave. Primero, siguiendo la visión de Coase (1937), se considera que la definición de “buenas reglas” reduce los costos de transacción, promoviendo un entorno más eficiente para las actividades innovadoras, como Nelson (1994) destaca. Segundo, dado que mejores reglas disminuyen la incertidumbre, se introduce su influencia en la distribución de probabilidad de la innovación, reflejando su impacto tanto en la intensidad como en la calidad del proceso innovador, en concordancia con Rodrik (2000).

Cabe aclarar que el modelo se centra exclusivamente en la innovación de nuevos procesos productivos dentro de una industria, dejando de lado la generación de productos diferenciados. Aunque considerar este aspecto podría ampliar los incentivos y la eficiencia de la innovación, se mantiene la formulación original de Winter, priorizando la simplicidad y la coherencia con el enfoque central del análisis.

Finalmente, a diferencia de la literatura ortodoxa, que se basa en soluciones analíticas y estática comparativa, este tipo de enfoques emplea simulaciones como herramienta para formular hipótesis debido a su naturaleza de modelo de Markov. Si bien, el modelo podría reducirse a matrices de transición que in-

diquen las probabilidades de pasar de un estado a otro¹⁴, esto implicaría una sobresimplificación que alteraría su estructura original. En cambio, las simulaciones permiten preservar su complejidad y generar hipótesis a partir de su dinámica.

No obstante, antes de exponer el modelo evolutivo de Winter, y dado que la dinámica evolutiva no es ampliamente conocida, la siguiente sección presenta primero un proceso evolutivo en su forma más simple, acompañado de un anexo sobre su matriz de transición. Luego, se desarrolla el modelo propuesto por Winter (2004).

2.2. Dinámica evolutiva básica

Se presenta un modelo básico en el que n firmas atraviesan ciclos de infección que duran s períodos. Estos ciclos pueden considerarse como choques externos que afectan aleatoriamente a las firmas, similares a las perturbaciones tecnológicas que alteran su productividad de manera impredecible.

Al inicio de cada ciclo, las firmas presentan una probabilidad de ser infectadas, denotada como $Pr[d_{inf} = 1]$. En caso de ser infectadas, experimentan un shock aleatorio en su productividad, el cual se extrae de una distribución normal. Este shock puede ser tanto positivo como negativo, generando variabilidad en la productividad de las firmas, de manera análoga a la variabilidad postulada por Darwin. En ausencia de infección, la productividad de la firma permanece inalterada.

En los períodos posteriores a cada ciclo de infección, las firmas observan la nueva distribución de productividades y buscan imitar la productividad máxima disponible. Dado que no existen fricciones en el proceso de imitación, cualquier firma con capacidad de imitar adopta de inmediato la mejor tecnología disponible. Este mecanismo de adopción deliberada se asemeja a la adaptación lamarckiana previamente discutida. La probabilidad de imitación, denota-

¹⁴Esto implica que la situación presente condiciona la evolución futura, impidiendo la ergodicidad de la trayectoria tecnológica, como señala David (1985). En otras palabras, el modelo busca capturar que, como mencionamos antes, la historia importa.

da como $Pr[d_{int} = 1]$, permanece activa hasta el inicio del siguiente ciclo de infección. En consecuencia, la firma dispone de $(s - 1)$ períodos para imitar la tecnología más avanzada antes de que se reinicie el ciclo.

Antes de cada nuevo ciclo, se verifica si la firma ha alcanzado la productividad máxima disponible. En caso afirmativo, continúa operando y enfrenta un nuevo ciclo de reinfección. En caso contrario, la firma es excluida de todos los períodos futuros. Aunque este criterio de selección es extremo, al excluir a las firmas con productividades inferiores a la máxima, proporciona una representación clara del proceso de selección en el mercado. De este modo, la selección en el mercado deja de ser completamente ciega, como en la visión darwiniana, y pasa a estar guiada por la capacidad de adaptación de las firmas.

La gráfica 4 ilustra la evolución de las productividades de las 30 firmas a lo largo de 20 períodos en dos configuraciones distintas¹⁵. Cada trayectoria muestra la evolución de la productividad de una firma en el entorno simulado.

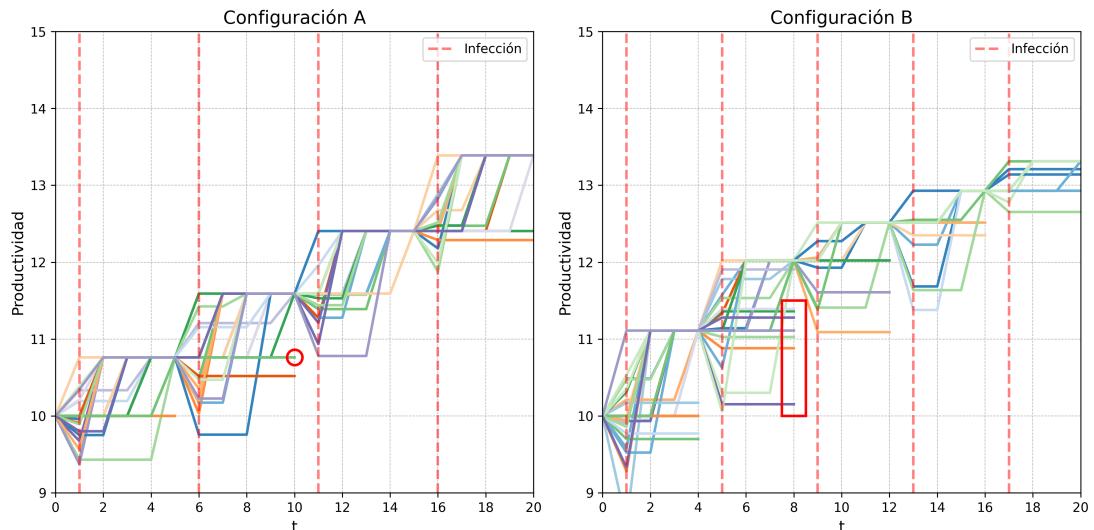


Figura 4: Trayectorias productivas en el Modelo de Infección. Configuración A y Configuración B

Fuente: Elaboración propia.

Dependiendo de la duración de los ciclos y de la probabilidad de imitación,

¹⁵Las simulaciones se llevaron a cabo en Excel con el propósito de proporcionar un entorno accesible y fácil de usar para cualquier usuario. El archivo está disponible para su consulta.

el modelo determina cuán rápidamente las firmas logran converger hacia la máxima productividad y cuántas logran alcanzarla. En la configuración A, la probabilidad de infectarse fue de 0,5, la probabilidad de imitar fue de 0,5, y la duración de los ciclos fue de 5 períodos. En contraste, en la configuración B, los parámetros tomaron los valores de 0,6, 0,4 y 4 períodos, respectivamente. Como se observa, las firmas comenzaron con un nivel homogéneo de productividad. Sin embargo, al iniciar el primer ciclo, su productividad se modificó aleatoriamente, introduciendo heterogeneidad en la industria. Esto dio lugar a un proceso de variación deliberada por parte de las firmas para evitar su eliminación. Al finalizar cada ciclo, las firmas sobrevivientes reiniciaron con un nuevo nivel de productividad, repitiéndose el proceso de variación y selección del mercado.

En la Figura 4, el círculo rojo en la gráfica A indica la desaparición de una firma, reflejada en la interrupción de su trayectoria. El rectángulo rojo en la gráfica B ilustra cómo, bajo los parámetros de la configuración B, la probabilidad de eliminación por el mecanismo de mercado aumentó. El anexo A.1 presenta las matrices de transición para cada configuración, mostrando las probabilidades de supervivencia en función de los parámetros.

2.3. Desarrollo del Modelo Winter (2004)

El modelo se enfoca en describir el comportamiento de las firmas en una industria donde todas enfrentan una misma demanda, con una dinámica similar a la de un duopolio de Cournot. En este contexto, la industria está compuesta por “n” firmas que compiten eligiendo cantidades, mientras toman el precio como dado. La producción es de un bien homogéneo, por lo que las firmas se diferencian únicamente por las técnicas de producción que emplean.

Consiguiente, la innovación se moldea como el proceso de encontrar mejores formas de llevar a cabo la producción, en lugar de centrarse en la introducción de nuevos productos al mercado. Por ejemplo, en una industria automotriz, la innovación puede surgir al resolver problemas como cómo producir llantas de manera más eficiente, cómo distribuir el trabajo dentro de la planta o cómo

reorganizar la cadena productiva para reducir costos.

Inicialmente, cada firma dispone de un stock determinado de capital físico y tecnología, común a todas las firmas del mercado. Con estos insumos, produce un nivel de output en el período presente. Al mismo tiempo, cada firma sigue un programa de investigación y desarrollo (I+D), es decir, una rutina organizada que asigna un nivel fijo de recursos tanto a la innovación como a la imitación. Si bien todas las firmas comienzan con la misma estrategia de I+D, sus trayectorias empiezan a divergir a medida que se generan innovaciones en la industria.

Dado que la innovación no siempre es exitosa y los resultados de la investigación presentan un componente aleatorio, en cada período las firmas se enfrentan a diferentes alternativas tecnológicas y deben seleccionar entre ellas. Este proceso recurrente de exploración y selección determina la evolución del nivel de tecnología, lo que genera una variabilidad tecnológica entre las firmas. En consecuencia, la heterogeneidad en el mercado emerge desde el inicio del proceso.

El mercado funciona como un ecosistema donde solo las firmas que logran adaptarse sobreviven. Aquellas que ajustan su estrategia de investigación y generan innovaciones en respuesta a la presión competitiva tienden a expandirse, mientras que las que no logran generar mejoras tecnológicas ni ajustar su comportamiento innovador son gradualmente desplazadas y, eventualmente, desaparecen. Así, se establece un mecanismo de selección natural en el mercado.

2.3.1. Comportamiento de las firmas

A partir de estas dinámicas, el modelo supone que la tecnología y el capital son los únicos factores de producción. Aunque esta simplificación puede extenderse al incorporar otros factores que dependan proporcionalmente del capital, manteniendo la coherencia del análisis. Así, la función de producción de cada firma se define como:

$$q_{it} = A_{it} \cdot K_{it} \quad \forall i$$

donde A_{it} representa el nivel de tecnología y K_{it} el nivel de capital de la firma i en el momento t . Asimismo, las empresas enfrentan una misma demanda con pendiente negativa, aunque esta se torna completamente elástica al superar un umbral de precio máximo P_{\max} . La inversa de la demanda toma la forma:

$$P_t = \min \left\{ \frac{D}{Q_t^{\eta^d}}, P_{\max} \right\}$$

donde $Q_t = \sum_{i=1}^n q_{it}$ representa la producción total de la industria, η^d es la elasticidad de la demanda, D es un factor de escala y P_{\max} representa el precio máximo a partir del cual la demanda se vuelve completamente elástica.

Además, como mencionamos anteriormente, las empresas también asignan recursos a actividades de I+D. En este marco, las firmas innovadoras tienen la capacidad de generar nuevas tecnologías y adoptarlas en su producción, siempre que estas sean superiores a las empleadas previamente. Al mismo tiempo, las firmas pueden observar las tecnologías desarrolladas por otras y destinar recursos para intentar imitar aquellas cuya patente ha expirado, incorporándolas si logran ser superiores a las previamente empleadas. En la industria también existen firmas puramente imitadoras, que solo destinan recursos a I+D para copiar tecnologías ya desarrolladas por otras empresas.

Consecuentemente, cada firma enfrenta costos de capital c por unidad de capital, los cuales se suponen fijos y homogéneos en toda la industria. Asimismo, asignan recursos a I+D a través de r_{int} y r_{imt} , que representan la inversión por unidad de capital destinada a la innovación e imitación de tecnologías, respectivamente. Donde las firmas que se dedican exclusivamente a imitar no incurren en costos de innovación, es decir, para estas se cumple que $r_{int} = 0$. A diferencia del modelo original, se introducen los costos de transacción. Aunque podrían modelarse explícitamente según los mecanismos que los generan e incorporando otros sectores, se optó por mantener la simplicidad modelando únicamente la industria y estableciendo que todas las firmas enfrentan un costo adicional denotado como TC . Estos costos dependen de la “calidad institucional”, la cual, como se explicó en las secciones anteriores y siguiendo los trabajos de Coase (1937) y North (1990), se supone que es una función de-

creciente de la calidad institucional, es decir, $TC(INS)' < 0$. La variable INS es dicotómica, tomando el valor de 1 en presencia de buenas instituciones y 0 en su ausencia.

Bajo este planteo, la función de beneficios por unidad de capital de la firma se expresa como:

$$\pi_{it} = P_t \cdot A_{it} - c - r_{int} - r_{imt} - TC(INS)$$

Dado que INS es una variable que solo toma uno y cero, se puede modelar los costos de transacción como $TC(INS) = \xi_{INS}(1 - INS)$, donde ξ_{INS} representa los ahorros en costos de transacción derivados de la presencia de calidad institucional adecuada. Así, la ecuación se reescribe de la siguiente manera:

$$\pi_{it} = P_t \cdot A_{it} - \tilde{c} - r_{int} - r_{imt} + \xi_{INS} \cdot INS$$

donde \tilde{c} representa los costos totales de los insumos de la firma por unidad de capital.

El término $\xi_{INS} \cdot INS$ aparece con signo positivo, reflejando los efectos favorables de una mayor calidad institucional. En particular, cuando $INS = 1$, las firmas se benefician de un entorno institucional más eficiente, lo que se traduce en una reducción de los costos de transacción.

2.3.2. Proceso de generación de conocimiento

El cambio tecnológico adoptado por cada firma en el momento t sigue un “proceso aleatorio de dos etapas”, según la terminología de Winter (1984). En la primera etapa, se determina si las actividades de innovación e imitación fueron exitosas. En caso afirmativo, la segunda etapa asigna el nivel de tecnología resultante de la innovación.

La posibilidad de que la actividad sea exitosa depende de la cantidad total de recursos destinados a I+D, es decir, de la rutina y de la cantidad de capital de la empresa:

$$Pr[d_{int} = 1] = a_n \cdot r_{int} \cdot K_{it}$$

$$Pr[d_{imt} = 1] = a_m \cdot r_{imt} \cdot K_{it}$$

donde a_n y a_m son parámetros que capturan la efectividad de la innovación y la imitación, respectivamente.

Si la innovación es exitosa, el nuevo nivel de tecnología obtenida a partir del proceso de innovación se extrae de una distribución lognormal con los siguientes parámetros:

$$\log A_{i,t} \sim N [L(\mu, \gamma, \xi_L \cdot INS, A_{it}), \sigma(1 - \xi_\sigma \cdot INS)]$$

donde μ representa la media de la productividad latente, eliminando el efecto del tiempo, y γ captura su crecimiento a lo largo del tiempo. La productividad latente, denotada por L , sigue la siguiente relación:

$$L = L_0 [\mu(1 + \xi_L \cdot INS), A_{it}] + \gamma t$$

Aquí, L_0 es una función que depende de $\mu(1 + \xi_L \cdot INS)$, que representa la productividad latente ajustada por la calidad institucional, y de A_{it} , definida previamente. La forma exacta de esta función se determina según el régimen de innovación, el cual será analizado más adelante.

Los parámetros ξ_L y ξ_σ permiten incorporar al modelo la visión propuesta por Rodrik (2000), según la cual las instituciones desempeñan un papel crucial en la reducción de la incertidumbre en la economía. En este sentido, ξ_L refleja el aumento porcentual en la productividad latente debido a la presencia de instituciones, mientras que ξ_σ refleja la disminución porcentual en la varianza de dicha distribución. Así, las firmas que operan en entornos institucionalmente más sólidos no solo enfrentan menores costos de transacción, sino que también experimentan una mayor estabilidad en los retornos esperados de sus inversiones en tecnología.

Finalmente, según los resultados de cada investigación, la firma selecciona el nivel de tecnología para el siguiente período a través de la siguiente función:

$$A_{i(t+1)} = \max\{A_{it}, d_{imt} \cdot A_{it}^*, d_{int} \cdot \tilde{A}_{it}\}$$

donde $A_{it}^* \equiv \max_i \{A_{i,(t-\tau)}\}$ representa la tecnología más avanzada disponible en la industria τ períodos atrás, siendo τ la duración de la patente. Por otro lado, \tilde{A}_{it} es la tecnología desarrollada a través del proceso de innovación por

la firma i en el período t .

Si se cumple que:

$$\max\{A_{it}, d_{int} \cdot A_{it}^*, d_{int} \cdot \tilde{A}_{it}\} = \tilde{A}_{it}$$

entonces la firma ha innovado con éxito y patentado su tecnología, superando las alternativas existentes. En cualquier otro caso, la nueva tecnología no genera una patente.

La figura 5 ilustra este proceso de creación de conocimiento.

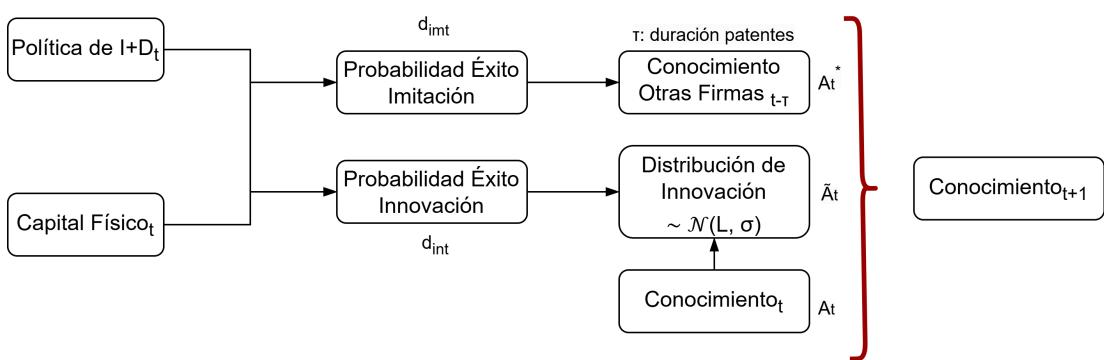


Figura 5: Diagrama del proceso de generación de conocimiento en dos etapas según Winter (2004).

Fuente: Elaboración propia.

Este proceso de decisión destaca una diferencia clave con los modelos neoclásicos tradicionales, que suelen asumir homogeneidad entre firmas. Aquí, las decisiones de cada empresa dependen de su propia trayectoria tecnológica y estrategias, lo que permite capturar la heterogeneidad observada en la realidad.

2.3.2.1. Régimen de investigación

A partir de los planteos de Schumpeter, la literatura ha identificado dos regímenes de innovación que reflejan dinámicas diferenciadas del proceso innovador. La visión de la innovación como resultado de la acción de emprendedores individuales se vincula con el pensamiento económico desarrollado tras la Primera Revolución Industrial, cuando los avances, por ejemplo en la industria textil y la máquina a vapor, fueron impulsados por empresarios

que introdujeron innovaciones radicales. De esta forma, como Winter (1984, p. 14) subraya, “es el empresario capitalista individual quien desempeña el papel principal”. Esta perspectiva es la que recoge Schumpeter (1934) (I) en su análisis del proceso de “destrucción creativa”, donde la introducción de nuevas tecnologías desplaza a las anteriores y transforma la estructura productiva.

En contraste, Schumpeter (1950) (II) presenta una visión en la que la innovación deja de depender de emprendedores individuales y pasa a organizarse dentro de grandes empresas. Esta dinámica se observa en el período posterior a la Segunda Revolución Industrial con la consolidación de laboratorios de I+D en sectores como la industria petroquímica. En este contexto, el proceso se define como una “acumulación creativa”, en la que las mejoras incrementales facilitan la evolución continua de las capacidades tecnológicas sin necesidad de rupturas abruptas (Malerba & Orsenigo, 1996). Esta visión coloca al trabajo colectivo en laboratorios de I+D como “motor” del progreso económico, capaces de aprovechar retornos a escala de la innovación (Lundvall, 2010, p. 9).

Sobre esta base, Nelson y Winter (1982) desarrolla un modelo centrado exclusivamente en el Régimen Emprendedor (RE), correspondiente al Schumpeter I, caracterizado por un enfoque de innovación disruptiva y transformadora. Sin embargo, los trabajos posteriores de Winter (1984, 2004) introducen una visión complementaria con el Régimen Rutinizado (RR), correspondiente al Schumpeter II, en el cual la innovación se concibe como un proceso más estable y acumulativo.

De esta manera, como señala Mesa y Gayo (1999), el primer régimen se caracteriza por un bajo nivel de concentración, barreras de entrada y salida relativamente bajas, y un tamaño innovador reducido, entendido este último como la capacidad de las empresas para generar nuevas innovaciones o realizar inversiones significativas en I+D. En contraste, el segundo régimen se distingue por una fuerte concentración de la innovación, lo que restringe la creación de nuevas firmas y, a su vez, incrementa el tamaño innovador.

Siguiendo el enfoque de Winter (1984), la productividad latente se modela con

las siguientes expresiones, dependiendo del régimen de innovación:

$$L_0 = \log [\mu \cdot (1 + \xi_L \cdot INS)] \quad (\text{RE})$$

$$L_0 = 0,5 \log [\mu \cdot (1 + \xi_L \cdot INS) + A_{i,t}] \quad (\text{RR})$$

En la ecuación (RE), correspondiente al *Régimen Emprendedor*, la productividad latente inicial L_0 depende únicamente de la media μ , ajustada por el efecto de las instituciones (capturado por el término $\xi_L \cdot INS$, como se indicó anteriormente).

Por otro lado, en la ecuación (RR), que describe el *Régimen Rutinizado*, la productividad latente también está influenciada por las innovaciones previas, representadas por $A_{i,t}$. En este caso, L_0 se define como la media geométrica entre la media ajustada y el conocimiento ya acumulado, lo que refleja la naturaleza incremental del proceso innovador en este régimen.

Asimismo, para capturar la estructura diferenciada de cada régimen tecnológico, los valores de los parámetros varían significativamente entre ellos, como se detallará en la siguiente sección. En el RR, la probabilidad de que la innovación sea efectiva es mayor en comparación con el RE, dado que en este último se caracteriza por un entorno más dinámico y competitivo. En este contexto, el RE favorece la irrupción de nuevos actores debido a las barreras de entrada más bajas. Finalmente, de acuerdo con la idea de destrucción creativa propuesta por Schumpeter I, existe una mayor variabilidad en la distribución de probabilidad de innovación. En contraste, el RR alineado con el concepto de acumulación creativa, se caracteriza por innovaciones incrementales, y una estructura del mercado que tiende hacia una mayor estabilidad y concentración (Malerba & Orsenigo, 1995).

2.3.3. Estrategia de inversión en capital físico

Por otro lado, la firma destina los beneficios obtenidos en un periodo a la inversión en capital fijo. Así, el capital de la firma sigue la siguiente ecuación de movimiento:

$$K_{i(t+1)} = (1 + I_{it} - \delta) K_{it}$$

donde I_{it} representa la inversión bruta en capital por unidad de capital, y δ representa la depreciación del capital.

La inversión de cada firma está determinada por su margen de ganancia, *markup*, definido como la diferencia entre el precio y el costo marginal. Siguiendo a Winter, el cálculo del *markup* se basa en un mercado con una empresa dominante y un conjunto de firmas en la “franja competitiva”. Bajo esta estructura, la firma dominante enfrenta una elasticidad de demanda residual. De esta manera, el *markup* no solo incorpora la elasticidad de la demanda, que refleja la sensibilidad de los consumidores ante variaciones en el precio, sino también la elasticidad de la oferta, que capta la respuesta de los competidores.

Así, el *markup* queda determinado por¹⁶:

$$\phi = \begin{cases} \frac{\eta^d + (1-s_i)\eta^s}{\eta^d + (1-s_i)\eta^s - s_i} & s_i < 1 \\ \frac{p_t - c}{p_t} & s_i = 1 \end{cases}$$

donde ϕ representa el *markup*, η^d y η^s son las elasticidades de la demanda y la oferta, respectivamente, y s_i es la cuota de mercado de la firma i .

De esta forma, la inversión bruta deseada por la empresa queda determinada por:

$$I^D = \delta + 1 - \phi \frac{c}{P_t \cdot A_{i(t+1)}}$$

No obstante, la inversión efectiva está restringida por la capacidad financiera de la firma, definida por la ecuación:

$$I^F = \begin{cases} \delta + \pi_{it} & \pi_{it} < 0 \\ \delta + (1+b)\pi_{it} & \pi_{it} \geq 0 \end{cases}$$

donde b representa la proporción adicional de capital que los bancos están dispuestos a financiar cuando la firma presenta beneficios positivos.

En consecuencia, cuando los beneficios son negativos, es decir, $\pi_{it} < 0$, la firma se ve obligada a reducir su stock de capital. En cambio, cuando los benefi-

¹⁶El apéndice A.2 contiene la derivación de esta fórmula.

cios son no negativos, es decir, $\pi_{it} \geq 0$, la firma puede reinvertir sus ganancias y ampliar su capacidad de inversión gracias al financiamiento proporcionado por el sistema bancario.

Finalmente, la inversión efectiva de la firma está determinada por:

$$I_{it} = \min\{I^D, I^F\}$$

Este mecanismo resalta las restricciones económicas y financieras que enfrentan las firmas, mostrando cómo las decisiones de inversión dependen no solo de incentivos marginales, sino también de la disponibilidad de recursos y la estructura del mercado.

En este marco, las firmas exitosas incrementan su tamaño y fortalecen su posición competitiva, lo que les permite sostener y expandir sus actividades productivas y de innovación. Desde una perspectiva evolucionista, este crecimiento mejora su *fitness* en el mercado. De esta forma, el proceso de selección competitiva impulsa la evolución de la industria, donde solo aquellas firmas capaces de adaptarse y generar mejoras tecnológicas logran sobrevivir (Douma & Schreuder, 2017).

2.3.4. Evaluación de desempeño

Siguiendo con el modelo, al final de cada periodo las firmas evalúan su desempeño, X_{it} , lo que determinará su decisión de continuar en la industria, ajustar sus políticas de investigación y desarrollo, o mantener su presencia en el mercado sin modificaciones. Donde el desempeño queda determinado por:

$$X_{it} = \theta X_{i(t-1)} + (1 - \theta)\pi_{it}$$

Como se observa, el desempeño actual de la firma se define como un promedio ponderado entre su desempeño en el periodo anterior y las ganancias obtenidas en el periodo presente. Esta formulación introduce un componente de inercia en la evaluación (representado por θ), evitando que las firmas reaccionen de manera errática ante fluctuaciones de corto plazo y permitiendo que ajusten sus estrategias de manera gradual y deliberada en función de tendencias más sostenidas en su desempeño. Este enfoque es consistente con la

visión de Hannan y Freeman¹⁷, según la cual las firmas tienden a modificar sus rutinas y estrategias de manera progresiva en lugar de realizar ajustes abruptos.

2.3.5. Evolución y ajuste de rutinas en el proceso innovador

Desde la perspectiva neoclásica, la asignación de recursos a I+D se determina por la maximización del beneficio esperado en cada período, bajo la suposición de que las firmas operan con un comportamiento optimizador. Sin embargo, desde un enfoque evolucionista, como se discutió en el capítulo anterior, las decisiones de las firmas no se basan en una optimización estricta, sino en rutinas, entendidas como procedimientos estandarizados para resolver problemas. En este sentido, se asume que cada firma sigue una rutina establecida respecto a la proporción de recursos asignados a la innovación y a la imitación. Sin embargo, estas rutinas no son estáticas, evolucionan con el tiempo cuando las firmas se percatan de que sus prácticas anteriores se vuelven ineficaces (Cimoli & della Giusta, 1998), tal como se expuso en el capítulo anterior.

Por lo tanto, a diferencia del modelo propuesto por Nelson y Winter (1982), Winter plantea que las políticas de innovación se ajustan en función del desempeño relativo de la firma en comparación con otras en la industria. En este marco, si el desempeño de una firma es inferior al beneficio promedio de la industria, $\bar{\pi}_t$, la firma tiende a modificar su estrategia, adaptando su rutina a las prácticas exitosas de otras firmas, acercándose así a la política promedio del sector, \bar{r}_{xt} . Esta dinámica refleja tanto la intención deliberada de innovar como la inercia que caracteriza a las firmas, mostrando que estas no son completamente flexibles ante el cambio, sino que su capacidad de adaptación está condicionada por su estructura y rutinas actuales.

De esta forma, la dinámica de las rutinas queda determinada por la siguiente

¹⁷Hannan y Freeman (1977) argumentan que las organizaciones presentan una fuerte inercia estructural, lo que restringe su capacidad de adaptación inmediata y favorece cambios incrementales en respuesta a presiones del entorno.

función:

$$r_{ix(t+1)} = \begin{cases} r_{ixt} & X_{it} \geq \bar{\pi}_t \\ r_{ixt} & (X_{it} < \bar{\pi}_t) \wedge (d_r = 0) \\ 1 - \beta r_{ixt} + \beta \bar{r}_{xt} + u_{ixt} & (X_{it} < \bar{\pi}_t) \wedge (d_r = 1) \end{cases} \quad \text{para } x \in [n, m]$$

Como se puede observar, el parámetro β controla la velocidad o intensidad de adaptación hacia la política promedio, de modo que a medida que β aumenta, las firmas muestran mayor flexibilidad para ajustar sus rutinas.

En este contexto, si el desempeño de la firma supera el beneficio promedio de la industria, la firma considera que su rutina es “exitosa” y decide continuar con la misma política. Sin embargo, si su desempeño es inferior al promedio, la firma busca ajustar su rutina y alinearla con las prácticas exitosas de otras empresas del sector, con el objetivo de mejorar su competitividad. No obstante, este proceso de adaptación no es automático, ya que depende de una variable aleatoria d_r , que refleja la probabilidad de que la firma logre modificar su rutina. La probabilidad de éxito de este ajuste, $P(d_r = 1)$, es del 50 %.

Las dificultades para llevar a cabo este ajuste surgen debido a la memoria organizacional de la firma. Siguiendo a Simon (1991), podría interpretarse que las nuevas formas de organizar I+D requieren un proceso de *turnover* entre los investigadores, lo que puede dificultar la adaptación de nuevas instituciones.

Además, los ajustes en las rutinas no son perfectos, lo que se modela mediante un error aleatorio. Este error sigue una distribución normal con media cero y varianzas σ_n y σ_m para los distintos aspectos del proceso de innovación e imitación, respectivamente. La distribución del error está truncada en cero, lo que significa que los valores negativos son descartados. Así, la distribución del error se expresa como:

$$u_{int} \sim N(0, \sigma_n) \quad u_{imt} \sim N(0, \sigma_m)$$

Finalmente, si una firma logra adaptar su política de I+D con éxito, se asume que su desempeño mejora en un valor Δ . Este incremento en el desempeño no solo refleja un aumento en la eficiencia productiva, sino que también se

debe a que la firma considera que ha aumentado su capacidad para innovar y, por lo tanto, tiene más oportunidades de mantenerse competitiva en el mercado durante el siguiente período.

2.3.6. Entrada y salida de firmas en la industria

2.3.6.1. Entrada de firmas

A diferencia de la primera versión de este modelo, la industria no es un sistema cerrado, sino que permite la entrada de nuevas firmas.

En cada período, la llegada de firmas innovadoras e imitadoras sigue un proceso estocástico en dos etapas. Primero, se determina la cantidad de empresas con potencial de ingreso a la industria. Luego, cada una de ellas evalúa su decisión de entrada en función de las rentas futuras esperadas. Este proceso se modela mediante una distribución de *Poisson*, cuyos parámetros dependen de la eficiencia de la investigación y del esfuerzo en I+D realizado fuera de la industria en innovación e imitación, representados como E_n y E_m , respectivamente.

De esta manera, la media de cada distribución de *Poisson* queda definida por:

$$N_t = a_n \cdot E_n$$

$$M_t = a_m \cdot E_m$$

donde a_n y a_m fueron definidas anteriormente, y N_t y M_t representan la media de la distribución de innovación y de imitación, respectivamente.

La decisión de entrada depende de la comparación entre los beneficios proyectados y el costo de oportunidad asociado al ingreso. En otras palabras, las firmas evalúan si pueden obtener una renta positiva, lo cual se formaliza mediante la siguiente inecuación:

$$P_t \cdot A_e - c > r_e + u_{et}$$

donde r_e representa el costo de oportunidad de la empresa entrante A_e representa la cantidad de tecnología con la que entra y u_{et} es un error de observación, con media cero y varianza σ_u .

Esta formulación muestra que las firmas comparan los costos esperados de ingresar a la industria con los beneficios proyectados, incorporando la incertidumbre inherente al proceso, en línea con Schmookler (1954).

La tecnología con la que una firma entra al mercado depende de su naturaleza. Las firmas innovadoras acceden a una tecnología inicial proveniente de la distribución de productividad latente descrita previamente, lo que implica que su ingreso al mercado genera una patente. En cambio, las firmas imitadoras adoptan la mejor tecnología disponible para replicar.

Por último, el capital inicial con el que una firma ingresa a la industria se modela mediante una distribución normal con media K^* y desviación estándar σ_K . Así, las firmas entrantes presentan condiciones heterogéneas en cuanto a su dotación inicial de capital y tecnología.

2.3.6.2. Salida de firmas

Cuando el capital en el siguiente período no alcanza el nivel mínimo requerido, $K_{i,(t+1)} < K_{\min}$, o cuando el desempeño de las firmas resulta inferior al umbral establecido, $X_{it} < X_{\min}$, dichas firmas no logran sostener su posición en el mercado y, como resultado, abandonan la industria. Este proceso refleja la incapacidad de las firmas para mantener la competitividad o generar recursos suficientes para operar. Por lo tanto, actúa el mecanismo de selección del mercado, favoreciendo la supervivencia de las firmas que han logrado adaptarse al ambiente de la industria.

Para formalizar las condiciones podemos escribir:

$$\text{Si } (K_{i,(t+1)} < K_{\min}) \vee (X_{it} < X_{\min}), \Rightarrow K_{i,(t+\tau_K)} = 0 \quad \forall \tau_K \in (1, \infty)$$

Indicando que la firma abandona la industria.

Con estas condiciones, se completa la formalización del modelo. A continuación, la figura 6 presenta un diagrama que ilustra de manera visual la dinámica del modelo de Winter extendido, facilitando la comprensión de las interacciones de la industria.

Por otro lado, para profundizar en la comparación entre el enfoque evolucionista y el neoclásico, se incluye el Anexo A.5, donde se contrastan sus resultados y se destacan las limitaciones del segundo en la representación de los procesos de innovación y cambio tecnológico.

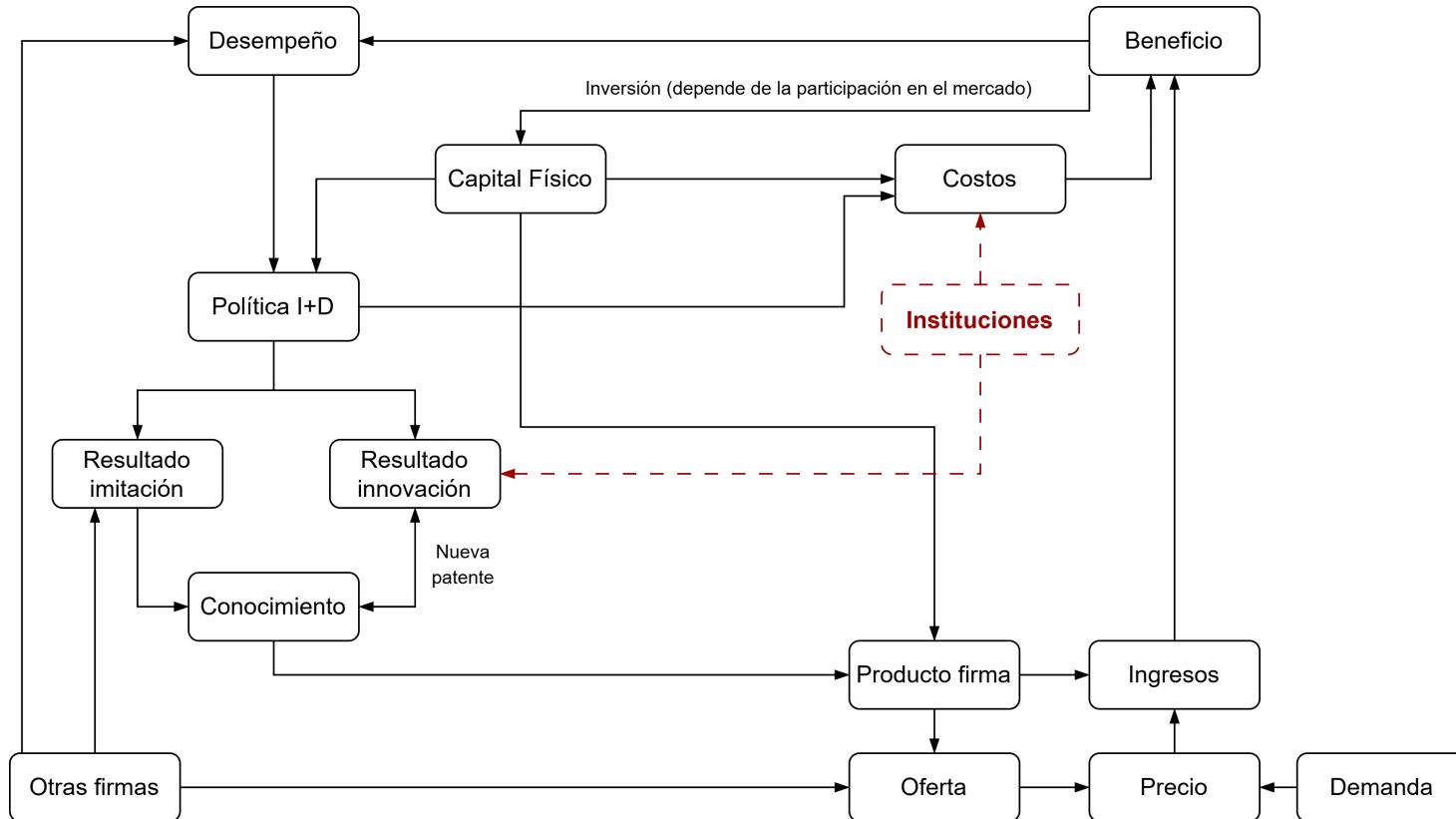


Figura 6: Diagrama estructural del modelo extendido de Winter, basado en la representación de Andersen (2001).

En esta versión, se incorpora el efecto de la calidad institucional en la dinámica industrial. Al igual que Andersen se mantiene el énfasis en una firma en particular, mientras que las variables agregadas se presentan en la última fila. Una flecha desde x hacia y debe interpretarse como “x codetermina y”. Fuente: Elaboración propia basada en la representación de Andersen (2001).

2.4. Simulaciones

Las simulaciones se implementaron en el lenguaje de programación Python. El código fue desarrollado desde cero, respetando las formulaciones del modelo y los ajustes propuestos en este trabajo. Para la formulación, generación de gráficos y realización de pruebas estadísticas, se emplearon las dependencias *matplotlib*, *numpy* y *scipy*. El código esta disponible a consulta pública¹⁸. Para evitar consideraciones ad hoc en el modelo, las simulaciones se realizaron empleando los valores presentados por Nelson y Winter (1982) y Winter (1984), con la excepción de las variables relacionadas con el desempeño empresarial inicial y el parámetro delta, cuya especificación no es aclarada en el trabajo original. En consecuencia, los valores para estas variables se determinaron a partir de los resultados de Clementino y Barrenechea (2022), quienes señalaron que su variación no genera diferencias “cualitativas significativas” (p. 255) en aspectos como el precio, la tecnología media, el número de firmas y la concentración del mercado. En este marco, la cantidad de firmas que asumen un rol innovador es igual a la de aquellas que orientan sus actividades de investigación y desarrollo exclusivamente a la imitación, siguiendo lo propuesto por Nelson y Winter. La descripción completa de los valores que toman estos parámetros puede consultarse en el anexo A.3. Finalmente, el tiempo de duración de las patentes se definió tomando como referencia los valores utilizados en Winter (2004) y en Clementino y Barrenechea (2022), correspondientes a cinco y diez períodos, respectivamente. A diferencia de Clementino y Barrenechea, quienes limitan sus pruebas a 20 simulaciones, este trabajo considera 200 simulaciones por cada especificación. Este enfoque busca incrementar la robustez y confiabilidad de los resultados obtenidos.

Para la selección del número de firmas para cada simulación, se tuvo en cuenta la observación realizada por Clementino y Barrenechea, quienes señalan que un número excesivo de firmas puede dificultar que alguna supere los estándares de desempeño durante los primeros dos períodos. En las simu-

¹⁸Los resultados completos de las simulaciones, los test realizados y el código del modelo de esta sección y de las siguientes se encuentran disponibles para su consulta y reproducción.

laciones de este trabajo, este efecto adverso se observa a partir de configuraciones con más de nueve firmas. Por lo tanto, para analizar la trayectoria en el tiempo, se decidió realizar simulaciones con $n = 3$ y $n = 5$, manteniendo el número de firmas por debajo del umbral crítico y descartando así que los resultados relacionados con la incorporación de patentes e instituciones se deban únicamente al número de actores.

Para evaluar el impacto de las instituciones, las primeras simulaciones se diseñaron considerando un efecto mínimo sobre los costos de transacción y en los parámetros que afectan la distribución de nuevas tecnologías. Posteriormente, se realizó un análisis de sensibilidad para determinar en qué medida un aumento en estos últimos modifica el nivel de patentes.

2.4.1. Simulación 1: Régimen Emprendedor (RE)

En esta simulación inicial, se consideró un escenario con cinco firmas bajo el *Régimen Emprendedor*. Como se mencionó previamente, la simulación incorporó tanto la entrada de nuevas firmas, siguiendo una distribución de Poisson para firmas innovadoras e imitadoras, como la salida de firmas cuyo desempeño esté por debajo del nivel mínimo, X_{min} , o cuyo capital sea inferior a K_{min} .

A partir de este escenario, se obtuvieron las gráficas presentadas en la Figura 7, las cuales muestran las distribuciones de las patentes bajo diferentes horizontes temporales de vigencia de las mismas (0, 5, 10 años, respectivamente) con un nivel institucional igual a 1. En esta figura, la línea sólida roja representa la media de la distribución para dicho nivel institucional, mientras que, la línea azul ilustra el caso en que el nivel institucional es igual a 0.

Adicionalmente, la Tabla 1 presenta un análisis detallado de los resultados, incluyendo los valores de los tests no paramétricos U de Wilcoxon-Mann-Whitney, utilizados para determinar si las diferencias observadas entre los casos analizados son estadísticamente significativas.

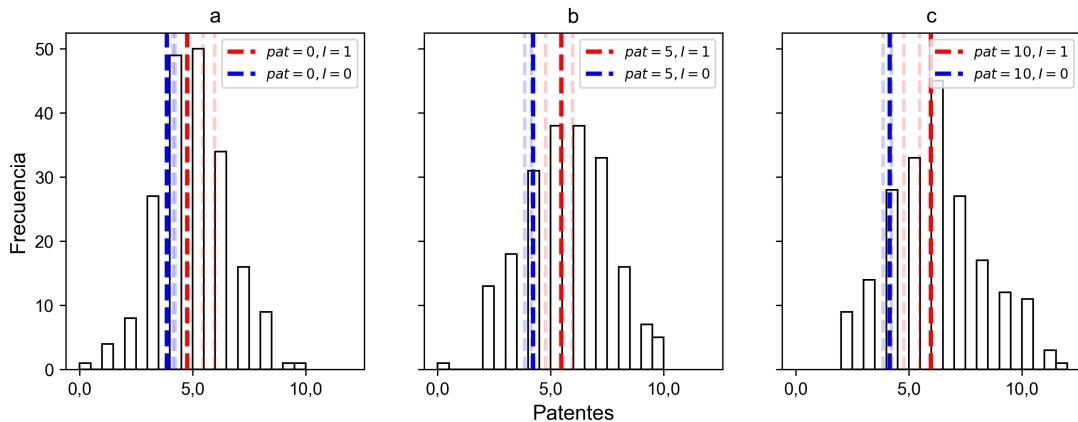


Figura 7: Distribución de patentes en función del horizonte temporal de vigencia y nivel institucional, RE.

a. Tiempo patentes = 0, b. Tiempo patentes = 5, c. Tiempo patentes = 10. Fuente: Elaboración propia.

Comparación	U de Mann-Whitney	Valor p
TP = 10, I = 1 — TP = 5, I = 1	22354,5	p = 0,020
TP = 5, I = 1 — TP = 0, I = 1	24310,0	p = 0,000
TP = 10, I = 1 — TP = 10, I = 0	29264,5	p = 0,000
TP = 5, I = 1 — TP = 5, I = 0	27164,0	p = 0,000
TP = 0, I = 1 — TP = 0, I = 0	26625,0	p = 0,000

Tabla 1: Resultados de los test de Mann-Whitney U, comparación cantidad de patentes $n = 5$, RE.

TP = Tiempo patentes, I = Instituciones. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 3 muestra los niveles máximos de tecnología alcanzados en dos situaciones contrastantes. En el lado izquierdo, se presenta el caso en el que el horizonte temporal de las patentes es de diez años y se consideran “buenas” instituciones, mientras que, en el lado derecho se muestra el caso en el que el tiempo de vigencia de las patentes es igual a cero y la calidad institucional es nula.

Para comparar ambos resultados, se emplearon las pruebas no paramétricas de Wilcoxon-Mann-Whitney y de Levene, con el fin de analizar las diferencias en la media y la varianza de ambos casos. Los resultados de estas pruebas

se encuentran en la Tabla 2.

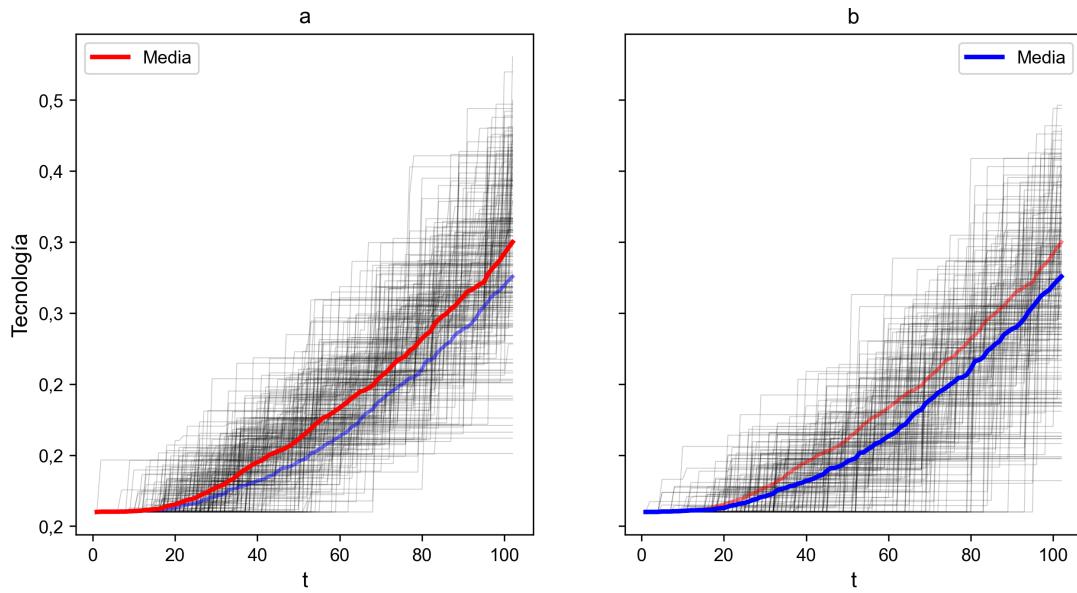


Figura 8: Evolución máxima tecnología desarrollada, RE.

a. Tiempo patentes = 10, Instituciones = 1, b. Tiempo patentes = 0, Instituciones = 0. Fuente: Elaboración propia.

Comparación	U de Mann-Whitney	Valor p
Media $t = 5$	20302,0	$p = 0,000$
Media $t = 50$	13089,0	$p = 0,000$
Media $t = 100$	15182,0	$p = 0,000$
Comparación	Levene	Valor p
Varianza $t = 5$	0	$p = 0,597$
Varianza $t = 50$	1	$p = 0,262$
Varianza $t = 100$	1	$p = 0,288$

Tabla 2: Resultados de los test de Mann-Whitney U y Levene, comparación Máxima Tecnología $n = 5$, RE,

Fuente: Elaboración propia.

2.4.2. Simulación 2: Régimen Rutinizado (RR)

Se replicaron las simulaciones y pruebas, pero bajo el régimen de innovación rutinizado.

De este modo, la figura 9 y la tabla 3 presentan los datos correspondientes a la distribución de las patentes y los tests de diferencia de medias no paramétricos. Mientras que la figura 10 y la tabla 4 muestran los resultados relativos a la tecnología máxima alcanzada en cada período de tiempo, y los respectivos tests.

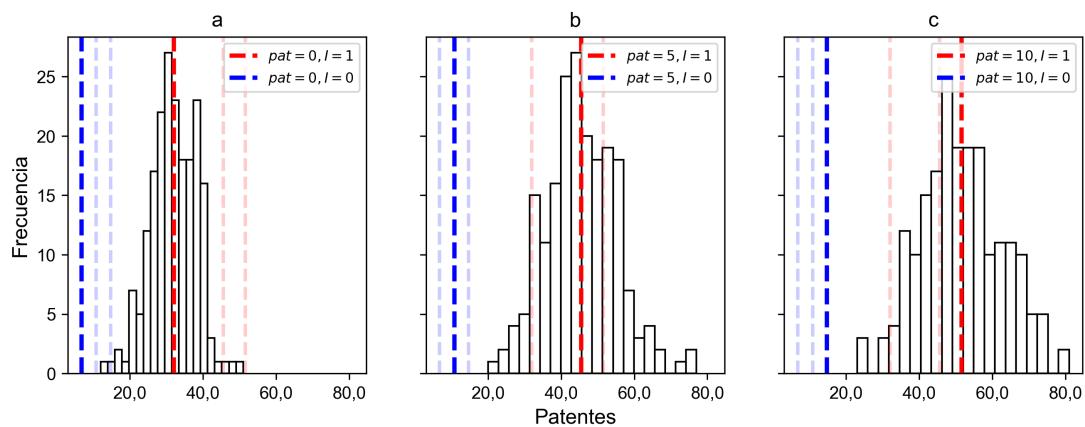


Figura 9: Distribución de patentes en función del horizonte temporal de vigencia y nivel institucional, RR.

a. Tiempo patentes = 0, b. Tiempo patentes = 5, c. Tiempo patentes = 10. Fuente: Elaboración propia.

Comparación	U de Mann-Whitney	Valor p
TP = 10, I = 1 — TP = 5, I = 1	26231,0	p = 0,000
TP = 5, I = 1 — TP = 0, I = 1	35175,5	p = 0,000
TP = 10, I = 1 — TP = 10, I = 0	39774,5	p = 0,000
TP = 5, I = 1 — TP = 5, I = 0	39952,5	p = 0,000
TP = 0, I = 1 — TP = 0, I = 0	39973,5	p = 0,000

Tabla 3: Resultados de los test de Mann-Whitney U, comparación cantidad de patentes $n = 5$, RR.

TP = Tiempo patentes, I = Instituciones. Fuente: Elaboración propia.

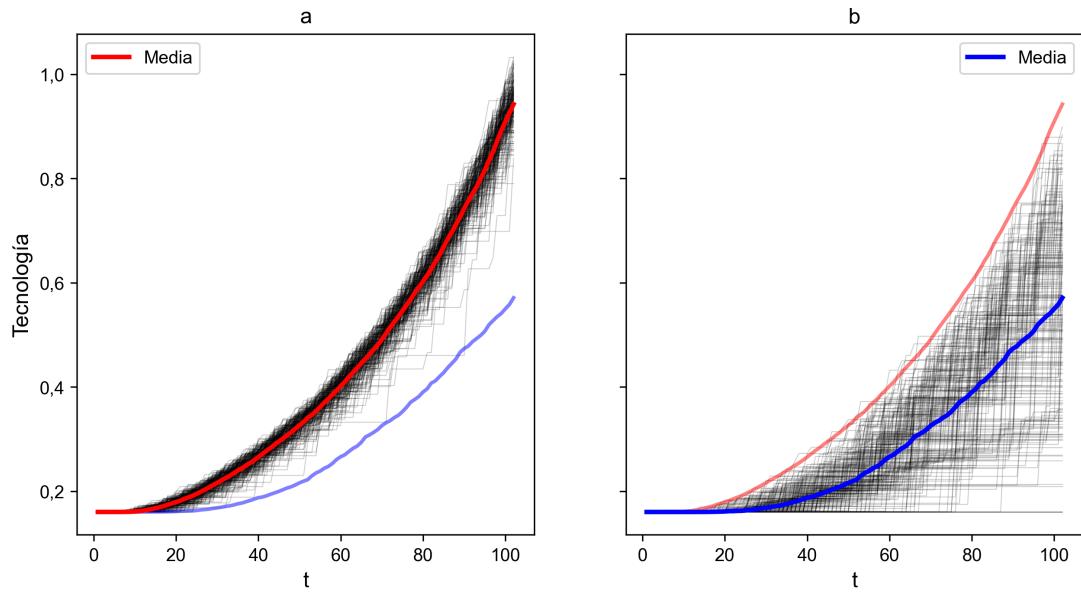


Figura 10: Evolución máxima tecnología desarrollada, RR.

a. Tiempo patentes = 10, Instituciones = 1, b. Tiempo patentes = 0, Instituciones = 0. Fuente: Elaboración propia.

Comparación	U de Mann-Whitney	Valor p
Media $t = 5$	19898,0	$p = 0,699$
Media $t = 50$	456,0	$p = 0,000$
Media $t = 100$	155,0	$p = 0,000$
Comparación	Levene	Valor p
Varianza $t = 5$	0	$p = 0,770$
Varianza $t = 50$	73	$p = 0,000$
Varianza $t = 100$	254	$p = 0,000$

Tabla 4: Resultados de los test de Mann-Whitney U y Levene, comparación Máxima Tecnología $n = 5$, RR.

Fuente: Elaboración propia.

Las simulaciones correspondientes a $n = 3$ para cada caso, se encuentran en el anexo A.4 del trabajo.

2.4.3. Análisis de sensibilidad

Para analizar el efecto del papel de las instituciones incorporado en este trabajo, como se mencionó anteriormente, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad de los parámetros que evalúan la calidad institucional. Esta análisis se simuló bajo el RE Y RR para $n = 5$. Esta herramienta permitió determinar las elasticidades de la cantidad de patentes producidas frente al aumento de los “costos de transacción”, la media de la distribución de la tecnología y la varianza de dicha distribución.

La siguiente tabla, Tabla 5 presenta los resultados obtenidos tras observar la variación de los parámetros $\psi_{TC} \in [0, 0,01, 0, 010]$, $\psi_L \in [0, 0,05, 0, 015]$ y $\psi_\sigma \in [0, 0,05, 0, 015]$. Esto implica que los costos de transacción se reducen en el rango de 0,001 a 0,01 por unidad de capital, mientras que, la media de la distribución tecnológica aumenta porcentualmente entre un 0,5 % y 1,5 %, y la varianza disminuye en un rango equivalente del 0,5 % al 1,5 %.

Régimen	$\frac{\Delta \% \text{Patente}}{\Delta \% \psi_{CT}}$	$\frac{\Delta \% \text{Patente}}{\Delta \% \psi_L}$	$\frac{\Delta \% \text{Patente}}{\Delta \% \psi_\sigma}$	Total
Emprendedor	79,9583	35,8194	3,6101	119,3878
Rutinizado	78,1358	35,0029	3,5278	116,6665

Tabla 5: Análisis de sensibilidad parámetros institucionales

Fuente: Elaboración propia.

2.5. Hipótesis

La primera observación antes de analizar los efectos institucionales es que los regímenes generaron diferencias sustanciales en cuanto a la cantidad de patentes. Específicamente, el régimen emprendedor se caracterizó por un menor número de patentes respecto al régimen rutinizado. Esta hipótesis es coherente con las características particulares de cada régimen.

En relación con el efecto institucional, y en línea con lo establecido al inicio del trabajo, se destaca que el nivel de innovación, medido a través del número promedio de patentes generadas, está positivamente afectado por el nivel

de calidad institucional. Ya que las instituciones reducen los costos de transacción, disminuyen la incertidumbre económica y generan un entorno más estable para la inversión en innovación, como se indicó previamente.

Estas conclusiones han sido corroboradas mediante el análisis de sensibilidad presentado en la Tabla 5, lo que reforzó la validez de los resultados. Las interpretaciones derivadas de los resultados de esta tabla indican el aumento porcentual en el número de patentes respecto al aumento porcentual de los parámetros institucionales. Además, el análisis de sensibilidad sugiere que el impacto total de las instituciones fue proporcionalmente mayor en el régimen emprendedor que en el régimen rutinizado.

Por otro lado, las simulaciones muestran que la presencia de una mayor calidad institucional provocó diferencias significativas en las tecnologías generadas. Al medir esto a partir de la máxima tecnología alcanzada por la industria, como se observa en las Tablas 2 y 4, la distribución se caracterizó por una media mayor y una menor varianza ante mayor calidad institucional. Siendo este efecto más significativo en el régimen rutinizado que en el régimen emprendedor.

Asimismo, las Figuras 7 y 9 sugieren que la simple implementación de patentes, incluso sin considerar los efectos institucionales que este trabajo agregó al modelo de Winter, incrementaron significativamente la generación de innovaciones, con un efecto especialmente pronunciado en el régimen rutinizado. Lo cual es consistente con los hallazgos de Winter (2004), quien destacó que la protección de patentes actúa como un incentivo clave para fomentar la innovación.

De este modo, las simulaciones generaron múltiples hipótesis. Sin embargo, este trabajo se enfocó en dos postulados principales:

- En primer lugar, se plantea que las instituciones ejercen un impacto significativo en el nivel de innovación, medido por la cantidad promedio de patentes generadas.
- En segundo lugar, se argumenta que dicho impacto no es uniforme, sino que varía entre industrias, reflejando las diferencias inherentes en los

procesos de desarrollo tecnológico propios de cada sector. Mientras que el régimen rutinizado genera un mayor número de innovaciones medido a partir del número de patentes producidas, el impacto de la calidad institucional parece ser relativamente mayor en el régimen emprendedor.

Aunque esta última hipótesis no ha sido explícitamente planteada en trabajos previos, se considera que es coherente con la investigación de Malerba y Orsenigo (1996). En el caso del régimen emprendedor, la competencia entre las firmas es mayor, lo que incrementa la presión para innovar y, por tanto, aumenta la relevancia de un entorno institucional que proteja las innovaciones. En cambio, los sectores rutinizados, dominados por grandes empresas con procesos de innovación sistemáticos y una alta propensión a patentar, muestran una menor sensibilidad frente a la calidad institucional, ya que estos sectores se basan más en procesos internos y capacidades acumuladas.

CAPÍTULO III

Modelo Macroeconómico.

Capítulo 3: Modelo Macroeconómico

3.1. Introducción

La innovación y el cambio tecnológico son fenómenos complejos que no solo deben ser comprendidos a nivel microeconómico, a través de las decisiones estratégicas de las empresas, sino también en un contexto más amplio, que abarca las interacciones entre sectores económicos. Si bien el análisis microeconómico es fundamental para entender los incentivos individuales de las firmas a innovar, el enfoque macroeconómico resulta crucial para capturar la dinámica de los procesos, y sus efectos en las variables agregadas de la economía.

Como se mencionó en la primera parte del trabajo, algunos modelos macroeconómicos han incorporado la visión Schumpeteriana, pero la mayoría de estos siguen basándose en los conceptos de maximización y la existencia de un equilibrio, contrario al pensamiento evolutivo. Esto se debe a la “extrema dificultad de construir modelos” con la visión competitiva propuesta por el paradigma evolucionista (Nelson & Winter, 1982, p. 29). En consecuencia, el modelo macroeconómico se ve, por ende, restringido por los marcos conceptuales del enfoque neoclásico.

La presente investigación emplea el modelo propuesto por Tebaldi y Elmslie (2006), el cual contribuye a la literatura sobre crecimiento económico al establecer una relación explícita entre las instituciones y la innovación. Este modelo vincula la calidad institucional con la asignación del capital humano al sector de investigación y desarrollo, y muestra cómo estos dos factores influyen en la generación de conocimiento y el crecimiento del producto. Sin embargo, a pesar de alinearse con la perspectiva evolucionista de la economía y de permitir una exposición clara de la relación entre las variables, el modelo guarda similitudes con el modelo neoclásico propuesto por Romer (1990).

El modelo utilizado se enmarca dentro de los modelos de Equilibrio General Dinámico y Estocástico (DSGE, por sus siglas en inglés). Este tipo de modelos permite integrar de manera rigurosa los microfundamentos ortodoxos y

capturar las interacciones entre los agentes económicos. Además, la elección de utilizar un modelo DSGE responde a las limitaciones señaladas por Lucas (1988) en los modelos macroeconómicos tradicionales.

Así, el modelo empleado en este trabajo proporciona un marco robusto y flexible para el análisis de los objetivos planteados y constituye la base para la estimación empírica de los efectos que se presentan en la sección 5.1.

3.2. Modelo de ciclos económicos reales y la dinámica del Sistema Nacional de Innovación

El modelo de Ciclos Económicos Reales (RBC, por sus siglas en inglés) surge con el aporte de Kydland y Prescott, quienes introducen una dinámica clave: el desfase temporal entre la inversión y la incorporación efectiva del capital a la economía. Este mecanismo permite explicar los ciclos económicos como respuestas óptimas a perturbaciones que afectan la productividad. Dentro de este marco, la economía se reduce a dos sectores fundamentales: el productivo y el de consumo (hogares).

En este modelo, la innovación se explica exclusivamente a través de shocks tecnológicos exógenos, tal como se detalló en el marco teórico. Siguiendo los supuestos de la economía neoclásica, todas las firmas pueden representarse mediante una firma representativa o, alternativamente, agruparse por sector bajo una representación homogénea. A diferencia del modelo básico de la sección 2.2, que enfatiza la heterogeneidad de las firmas y su dinámica de selección, el modelo de ciclos reales puede interpretarse como la tecnología agregada de las firmas supervivientes antes del inicio de un nuevo ciclo, es decir, en el punto en que todas las firmas se tornan homogéneas.

Desde esta perspectiva, el Sistema Nacional de Innovación se modela como un sistema estático, donde la única fuente de cambio proviene de shocks exógenos. La evolución de la productividad no responde a una dinámica endógena, sino a perturbaciones externas que generan fluctuaciones en la economía. Tras una alteración, la economía experimenta un desequilibrio transitorio hasta alcanzar nuevamente su estado estacionario.

La Figura 11 presenta un diagrama de la economía, donde en el caso del modelo ortodoxo, el SNI se encuentra formado exclusivamente por tecnología y shock productividad (representados en color gris).

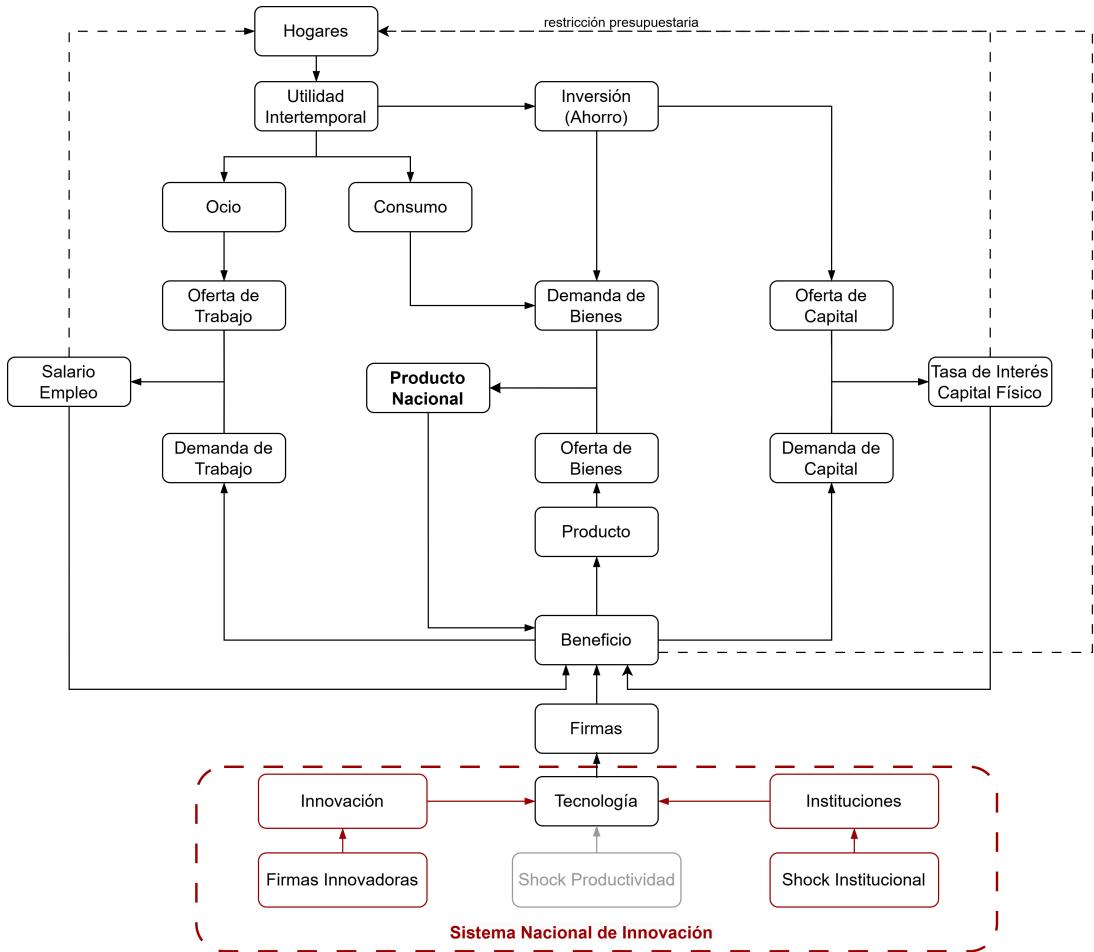


Figura 11: Diagrama estructural del modelo RBC.

En gris se presenta la modelización del Sistema Nacional de Innovación (SNI) según el modelo ortodoxo, mientras que en bordo se muestra, de forma sintética, la modelización correspondiente al modelo de Tebaldi y Elmslie (2006).

Sin embargo, este enfoque contrasta con el de Tebaldi y Elmslie (2006), quienes incorporan el papel de las instituciones en la determinación del proceso de innovación. En su modelo, el SNI deja de ser un elemento pasivo para convertirse en una estructura dinámica cuya evolución depende de la calidad institucional y los incentivos del mercado, lo que influye en la capacidad de la economía para generar y absorber nuevas tecnologías. Como se observa en la parte inferior del diagrama (representado en color bordo), la innovación adquiere una dimensión endógena, permitiendo analizar la interacción entre

el entorno institucional y el cambio tecnológico.

No obstante, al basarse en la teoría neoclásica, este modelo sigue siendo incapaz de capturar la heterogeneidad del mercado dentro de un mismo contexto, una limitación que el modelo de la sección anterior aborda explícitamente. Aun así, proporciona un marco sólido para examinar los efectos a nivel agregado. Para modelar la dinámica del SNI, el modelo de Tebaldi y Elmslie distingue entre un sector dedicado a la invención e innovación y un sector encargado de comercializar dichas innovaciones. Este último adquiere las innovaciones y las implementa en la producción de bienes, facilitando su integración en la economía. La Figura 11 ilustra este enfoque del SNI, destacando la expansión del modelo con el color bordo. En el diagrama, estos “nuevos sectores” se encuentran englobados en el recuadro “Firmas Innovadoras”. De esta manera, el modelo refleja la interacción entre los diferentes actores que conforman el SNI, como las firmas, las instituciones de investigación y los centros de desarrollo tecnológico.

Asimismo, el modelo de Tebaldi y Elmslie incorpora explícitamente el papel de las instituciones en la economía. No obstante, la “calidad institucional” se determina de forma exógena y no se modela dentro de la dinámica del SNI, lo que implica que el modelo no captura la evolución de las instituciones a lo largo del tiempo. En consecuencia, su enfoque permite analizar el impacto de “shocks institucionales” en la economía, es decir, los efectos de variaciones exógenas en la calidad institucional.

3.3. Desarrollo del Modelo Tebaldi y Elmslie (2006)

La Figura 12 ilustra las relaciones entre las variables del modelo económico propuesto por los autores, destacando el papel central de las instituciones. En este modelo, las instituciones ejercen una influencia directa sobre el capital humano, la innovación y los bienes intermedios. Estos factores, junto con las instituciones, inciden en el crecimiento económico.

Específicamente, Tebaldi y Elmslie definen la “calidad institucional” como un índice agregado que mide atributos como el cumplimiento de contratos, la pro-

tección de los derechos de propiedad, la eficacia judicial, la transparencia administrativa, el control de la corrupción y la implementación de regulaciones “pro-mercado”. Esta definición se alinea con el enfoque adoptado en este trabajo, ya que refleja cómo las instituciones de calidad pueden reducir los costos de transacción en la economía. Al fomentar la confianza y la cooperación entre los agentes económicos, estas instituciones disminuyen las fricciones que obstaculizan el funcionamiento eficiente de los mercados.

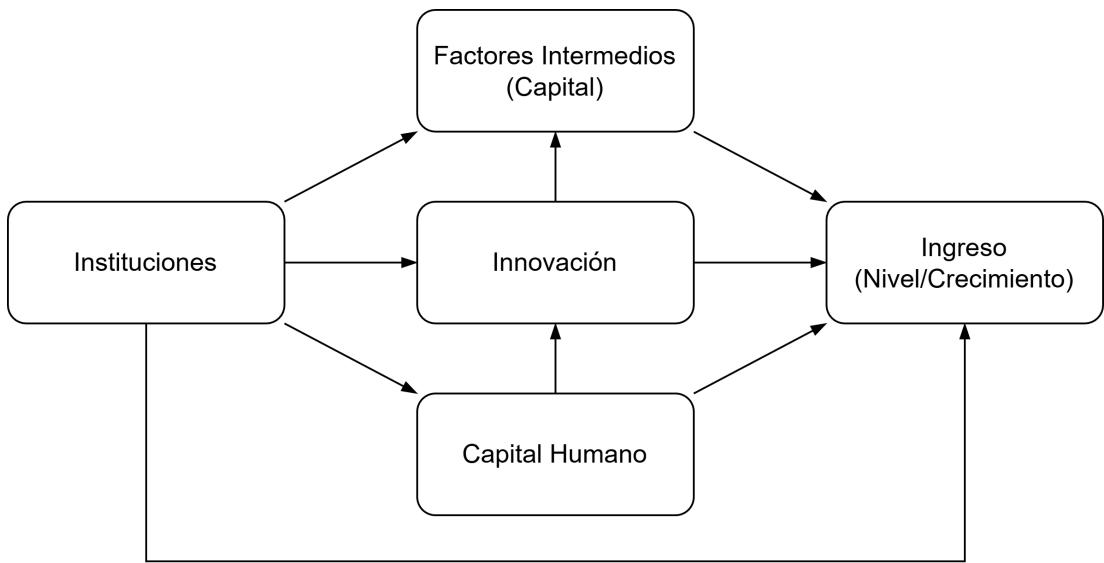


Figura 12: Esquema de Modelo de Economía.

Fuente: Tebaldi y Elmslie (2006).

El modelo propuesto comprende cuatro tipos de agentes: un sector de producción de bienes finales, un sector de capital intermedio, un sector dedicado a la creación de conocimiento y los consumidores. La inclusión de un sector específico para la generación de conocimiento, con una función de producción dedicada a este fin, constituye un elemento fundamental en otros modelos de crecimiento endógeno, como los propuestos por Romer (1990) y Jones (1995). El primer sector, dedicado a la producción de bienes finales, opera en un mercado puramente competitivo que emplea tanto capital humano como bienes intermedios. A diferencia del modelo de Romer, la cantidad de bienes intermedios utilizados en este sector está condicionada por las restricciones insti-

tucionales de la economía. Esto implica que algunos bienes intermedios generados no pueden ser empleados en la producción de bienes finales hasta que las restricciones institucionales evolucionen y permitan su integración.

El sector de bienes intermedios, por otro lado, opera en un contexto de competencia imperfecta, lo que permite explicar la falta de competitividad mencionada en la primera parte del trabajo. Debido a la necesidad de un marco institucional que respalde el desarrollo de nuevas tecnologías, los beneficios de los productores en este sector se ven directamente influenciados por la coevolución de las instituciones y la innovación, lo que impacta el valor generado por la innovación.

El sector de I+D, siguiendo el enfoque de Romer, incorpora una función de producción que, a diferencia de estudios anteriores, integra de manera explícita el papel de las instituciones, reflejando la relación entre estas variables descrita anteriormente.

A diferencia del modelo propuesto por Tebaldi y Elmslie (2006), este trabajo amplió el enfoque metodológico al incorporar explícitamente el papel de los consumidores en la decisión entre consumo y ocio. Esta extensión permitió desarrollar un modelo de RBC, lo que posibilitó la inclusión de los efectos del mercado laboral y un análisis más completo de la dinámica económica frente a perturbaciones exógenas, que se observan a través de las funciones de impulso-respuesta ante choques tecnológicos.

Para simplificar la exposición, se asumió que la población se mantiene constante a lo largo del tiempo, lo que implica trabajar con variables per cápita. Este supuesto no limita el análisis, ya que podría relajarse fácilmente para considerar una fuerza laboral en expansión.

Asimismo, para facilitar la implementación del modelo y su simulación computacional, se optó por emplear tiempo discreto en lugar de continuo, lo que resulta adecuado para su resolución mediante herramientas como Dynare.

Antes de proceder con la modelización, y con el objetivo de garantizar una representación clara y comprensible del modelo, se presenta a continuación la Tabla 6, que describe las relaciones de flujo y stock entre los diferentes agentes económicos del modelo. Esta estructura facilita la visualización de la distri-

bución de ingresos, gastos, activos y pasivos dentro del sistema, permitiendo una interpretación más accesible de las dinámicas del modelo y asegurando el correcto vaciado de mercado.

	Flujo		Stock	
	Ingreso	Gasto	Activo	Pasivo
Sector bien final	Bien final	Salarios _Y Bien intermedio Dividendos _Y		
Sector bien intermedio	Bien intermedio	Interés Dividendos _x Patentes		Capital
Sector I+D	Patentes	Salarios _A Dividendos _A		
Familias	Salarios _{Y+A} Dividendos _{Y+x+A} Interés	Consumo Inversión bruta	Capital	

Tabla 6: Esquema de flujo y stock de los agentes del modelo

Fuente: Elaboración propia

Se puede verificar que la economía es cerrada comprobando que la suma de los saldos y la suma de los flujos, presentados en la Tabla 6, son equivalentes a cero. De este modo, se cumple la identidad contable $Y \equiv C + I$.

3.3.1. Sector bien final

Siguiendo el planteamiento de los autores, la firma representativa produce un bien final utilizando una tecnología de rendimientos constantes a escala y operando en un mercado de competencia perfecta. La elección de una tec-

nología de rendimientos constantes asegura que el valor del producto total sea proporcional a la cantidad de insumos empleados, lo cual también implica competitividad en el mercado.

$$Y = L^{1-\alpha} \int_0^{f(A,T)} x_i^\alpha di \quad (1)$$

donde L es la cantidad de trabajo empleado en el sector de bien final, x_i denota la cantidad de producto intermedio i , y α representa la elasticidad de producción respecto a x_i . Además, la forma de la función de producción adopta el enfoque de Dixit y Stiglitz (1977), al incorporar un sector de productos intermedios caracterizado por competencia monopolística. Este tipo de tecnología indica que el progreso tecnológico se encuentra en la diversificación de productos, diferente a lo propuesto en el modelo microeconómico.

El hecho de que la función de producción sea aditivamente separable implica que cada nuevo bien intermedio generado se considera un insumo adicional que amplía la gama de productos, sin sustituir a los existentes ni mejorar su calidad. En otras palabras, los nuevos bienes de capital son distintos de los anteriores, pero no necesariamente superiores ni inferiores, lo que permite que los productos antiguos mantengan su relevancia y nunca queden obsoletos, tal como se señaló en Sala-i-Martin (2000).

La razón de integrar hasta $f(A, T)$ sigue la misma lógica que en el trabajo original de Tebaldi y Elmslie (2006). Esto implica que los nuevos productos intermedios dependen no solo de la cantidad de innovaciones generadas, A , sino también de la evolución conjunta de las instituciones, T , las cuales facilitan la adopción y difusión efectiva de estas innovaciones en el sistema productivo. Siguiendo el mismo razonamiento de Tebaldi y Elmslie, la ecuación (1) se puede reescribir como:

$$Y = L_Y^{1-\alpha} \int_0^{\min\{A, \psi T\}} x_i^\alpha di = L_Y^{1-\alpha} \int_0^{\psi T} x_i^\alpha di \quad (2)$$

donde ψT indica la tecnología disponible, dada la capacidad institucional.

Este planteamiento sugiere que la tecnología avanza a un ritmo más rápido que las instituciones, lo cual refleja una dinámica característica de las economías modernas, donde la innovación tecnológica supera la capacidad de

las instituciones para adaptarse. Si, en cambio, las instituciones evolucionaran más rápidamente que la tecnología, el modelo se reduciría a una versión del modelo de Romer (1990), donde las instituciones no jugarían un papel determinante en el ritmo de adopción y difusión de las innovaciones.

Asumiendo un mercado perfectamente competitivo y un comportamiento maximizador por parte de las firmas, estas buscan maximizar sus beneficios, definidos como la diferencia entre los ingresos totales y los costos de los insumos utilizados en la producción. Esto permite derivar las siguientes condiciones del modelo:

$$w = (1 - \alpha) \frac{Y}{L} \quad (3)$$

$$p_i = \alpha L^{1-\alpha} x_i^{\alpha-1} \quad (4)$$

Las ecuaciones (3) y (4) corresponden a la inversa de la demanda de trabajador y la demanda de insumo intermedio i , correspondientemente.

3.3.2. Sector bien intermedio

El sector de bienes intermedios está compuesto por un gran número de firmas, cada una de las cuales opera como un monopolista en la producción de un bien intermedio específico. Este supuesto sigue el planteamiento clásico de Romer (1990), donde los bienes intermedios se diferencian entre sí y son producidos con tecnologías exclusivas, lo que otorga poder de mercado a las firmas productoras. En consecuencia, cada firma enfrenta una demanda propia, la cual está caracterizada por la ecuación (4).

El sector de bienes intermedios utiliza exclusivamente capital para la producción. Una vez adquirida la patente, cada unidad de x_i se produce empleando una unidad de capital K . Así, el costo que enfrenta el productor corresponde al interés que debe pagar por el capital prestado. Bajo el supuesto de comportamiento maximizador, se derivan las siguientes condiciones de equilibrio:

$$x_i = \left(\frac{\alpha^2 L_Y^{1-\alpha}}{r} \right)^{1/(1-\alpha)} \quad \forall i \quad (5)$$

Sustituyendo la expresión (5) en (4), se obtiene la siguiente ecuación para el precio del bien intermedio:

$$p_i = \frac{r}{\alpha} \quad \forall i \quad (4')$$

Además, el costo de la patente que la firma intermedia debe adquirir para poder producir está determinado por el valor presente descontado de los beneficios futuros que generará. Este valor se expresa de la siguiente manera:

$$P_A = \frac{1}{(1+r)^{\tau-1}} \frac{1-\alpha}{\alpha} x_i \quad (6)$$

El parámetro τ representa el tiempo que debe transcurrir antes de que una nueva innovación pueda ser incorporada por las firmas intermedias. Si $\tau = 0$, las firmas pueden utilizar la innovación de forma inmediata tras su adquisición, lo que sugiere un entorno institucional favorable, sin barreras temporales significativas.

3.3.3. Sector investigación y desarrollo

El sector de investigación y desarrollo (I+D) es responsable de generar innovación mediante la creación de nuevos productos intermedios y avances tecnológicos. Este sector vende las patentes a las firmas del sector de bienes intermedios y emplea trabajadores para la producción de la innovación. De esta forma, el producto de innovación se determina por la siguiente ecuación:

$$A_{t+1} - A_t = \delta_A A_t^{1-\phi} (\psi T_t)^\phi L_A \quad (7)$$

donde $A_{t+1} - A_t$ representa el cambio en la cantidad de innovación, δ_A es una constante que mide la eficiencia del proceso de I+D, ϕ es el parámetro que refleja la sensibilidad de la innovación frente a las instituciones T_t , y L_A es el número de trabajadores dedicados a la I+D.

Considerando el precio al que pueden ofrecer sus patentes, las firmas de I+D maximizan el beneficio de su producto de acuerdo con la siguiente condición de primer orden:

$$P_A \delta_A A^{1-\phi} (\psi T)^\phi = w \quad (8)$$

Como se puede observar, el modelo de I+D propuesto, al adoptar una visión agregada de la economía bajo el enfoque neoclásico, omite detalles cruciales

sobre el proceso de selección de la innovación dentro de la industria y la heterogeneidad inherente a las firmas. Al simplificar las decisiones de los agentes mediante la suposición de que todas las firmas maximizan sus beneficios y que el único insumo relevante en la creación de innovación es el trabajo dedicado a la I+D, el modelo pierde la complejidad que caracteriza a los procesos de innovación reales. Este enfoque obliga a tratar el comportamiento de las firmas como homogéneo, sin considerar las diferencias en sus capacidades para innovar, ni las decisiones estratégicas que toman frente a los precios y la competencia. Además, no aborda cómo los factores microeconómicos, como las economías de escala, las redes de conocimiento y las estrategias competitivas, influyen en la dinámica de la innovación.

3.3.4. Consumidores

Finalmente, este sector, al igual que los anteriores, se modela bajo el supuesto de un comportamiento maximizador, en este caso respecto a la utilidad del consumidor. Para representar las preferencias de los consumidores, se emplea una función de utilidad CES (Elasticidad de Sustitución Constante), debido a su flexibilidad para capturar distintas elasticidades de sustitución, tanto entre bienes como a lo largo del tiempo. Además, la adopción de esta función es ampliamente aceptada en la literatura económica, lo que favorece la coherencia y la comparación del modelo con otros enfoques similares.

$$U_t = \gamma \frac{C_t^{1-\eta_C} - 1}{1 - \eta_C} + \theta \frac{(1 - L_t)^{1-\eta_L} - 1}{1 - \eta_L} \quad (9a)$$

Según la tabla 6, las familias enfrentan la siguiente restricción intertemporal:

$$C_t + I_t = w_t (L_{At} + L_{Yt}) + r_t K_t + \Pi_t \quad (9b)$$

Es evidente que:

$$L_{At} + L_{Yt} = L_t \quad (10)$$

Además, los consumidores, propietarios del capital, presentan la siguiente ecuación de movimiento:

$$K_{t+1} - K_t = I_t - \delta_K K_t \quad (11)$$

Suponiendo que las familias viven infinitos períodos y descuentan intertemporalmente a una tasa ρ y utilizando las ecuaciones (9a) y (9b), se obtienen las siguientes condiciones de equilibrio:

$$C_{t+1} = [\beta(1 + r_{t+1} - \delta_K)]^{1/\eta_C} C_t \quad (12)$$

$$w_t = \frac{\theta}{\gamma} \frac{C_t^{\eta_C}}{(1 - L_t)^{\eta_L}} \quad (13)$$

donde $\beta \equiv \frac{1}{1+\rho}$. La ecuación (12) corresponde a la ecuación de Euler, que describe los intercambios intertemporales entre consumo presente y futuro, reflejando las decisiones óptimas de consumo de los agentes económicos a lo largo del tiempo. Por otro lado, la ecuación (13) representa la oferta de trabajo, modelando la elección entre el tiempo dedicado al trabajo y al ocio, lo que permite capturar cómo los individuos ajustan su tiempo laboral en respuesta a los incentivos del mercado.

Con todas las partes del sistema definidas, se puede proceder a la resolución del modelo.

3.3.5. Vaciado de mercado

Dada la ecuación (4'), se puede concluir que el precio de todos los bienes intermedios es constante y se iguala a $p = p_i = \frac{r}{\alpha} \quad \forall i$. De manera similar, la ecuación (5) se simplifica a $x_i = x \quad \forall i$. Al integrar x_i respecto a todos los bienes intermedios utilizados en la economía y definir $z \equiv \frac{\psi T}{A}$, se obtiene la siguiente expresión:

$$\int_0^{\psi T} x_i di = K \implies K = z A x \quad (14)$$

Usando (14), se puede reescribir la ecuación (2) de la siguiente forma:

$$Y = z A L_Y^{1-\alpha} K^\alpha \quad (2')$$

Asimismo, las ecuaciones correspondientes pueden ser reescritas como sigue:

$$A_{t+1} - A_t = \delta_A A_t z^\phi L_{At} \quad (7')$$

$$P_A \delta_A A z^\phi = w \quad (8')$$

De esta manera, el sistema resultante, compuesto por las ecuaciones (2), (3), (4'), (5), (6), (7'), (8'), (9b), (10), (11), (12) y (13), genera un sistema de 12 ecuaciones y 12 incógnitas, lo cual permite resolver simultáneamente las decisiones económicas de los agentes, así como las interacciones entre los distintos sectores de la economía.

3.4. Simulaciones

Las simulaciones presentadas en esta sección fueron realizadas utilizando el lenguaje de programación Octave, junto con la herramienta Dynare, y la librería *matplotlib* en Python para la visualización de los resultados. El código fue desarrollado desde cero, siguiendo las fórmulas propuestas en el modelo, con las incorporaciones y ajustes realizados en el presente trabajo.

Dado que el objetivo de este trabajo no fue aplicar el modelo DSGE a un país específico, sino analizar y visualizar los efectos de choques institucionales y evaluar sus hipótesis, los valores de los parámetros utilizados fueron obtenidos de estudios previos. En particular, siguiendo a d'Agostino y Scarlato (2013), se adoptaron parámetros estándar de la literatura de crecimiento, provenientes de Jones y Williams (2000), siempre que fueran compatibles con el modelo (su enfoque es un modelo de Ramsey, mientras que el de este trabajo corresponde a un RBC). Para los parámetros de la función de utilidad, se utilizaron los valores estándar propuestos por Mutschler (2022). Finalmente, algunos parámetros fueron calibrados con el objetivo de asegurar la existencia de un estado estacionario. El anexo B.1 ofrece un detalle exhaustivo de los valores de los parámetros utilizados, su descripción y su referencia.

Para generar choques en el modelo, se asumió que la relación entre el aporte institucional en tecnología y la tecnología disponible, definida como z en la sección anterior, sigue una función de autocorrelación de primer orden. En particular, esta relación se describe mediante la siguiente ecuación:

$$\log(z_t) = (1 - \rho_z) \log(\bar{z}) + \rho_z \log(z_{t-1}) + \varepsilon_t$$

donde \bar{z} representa el nivel de largo plazo, ρ_z determina la persistencia de la variable, actuando como el coeficiente de autocorrelación, y ε_t corresponde a un choque aleatorio que afecta la trayectoria de z_t . La desviación estándar del choque aplicado fue de 0,01. Además, se definió un horizonte temporal de 150 períodos para permitir que todas las variables regresen a su nivel de estado estacionario.

Estas configuraciones dieron lugar a las gráficas presentadas en la Figura 13, que muestran las funciones de impulso y respuesta, las cuales describen la dinámica de las variables del modelo tras la ocurrencia del choque.

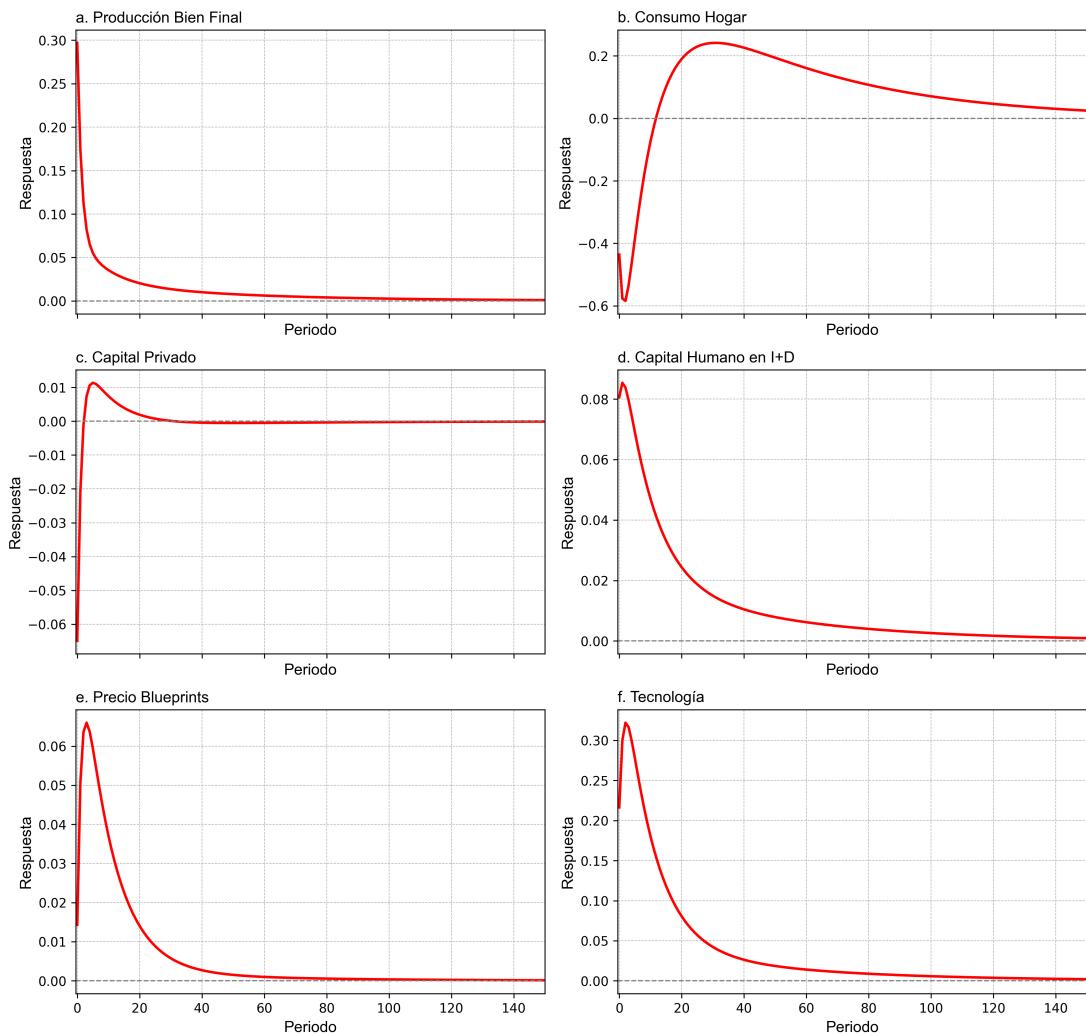


Figura 13: Funciones de Impulso Respuesta shock institucional.

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Hipótesis

Al igual que las hipótesis establecidas en la parte microeconómica e incorporadas en esta sección del trabajo, un shock institucional que incrementó la relación entre el aporte institucional y la cantidad de conocimiento disponible genera un aumento en la innovación del sistema, como se observa en la gráfica f de la Figura 13.

Como se puede observar, el impacto inicial sobre el consumo fue negativo, atribuible al aumento de los costos asociados al capital y al trabajo. Este efecto intensificó la sustitución intertemporal, lo que generó una caída en la inversión, como se evidencia en las funciones de impulso-respuesta. No obstante, dicho impacto se atenúo con el tiempo. Este fenómeno se explica en parte por el retraso en la adopción de la tecnología, lo cual generó un efecto tardío que también es observable en las trayectorias de tecnología, capital humano y precio de las patentes.

Es importante destacar que, aunque el modelo incorporó la elección de ocio, diferenciándose de los modelos propuestos por Tebaldi y Elmslie (2006) y d'Agostino y Scarlato (2013), los resultados e hipótesis obtenidos son consistentes con los esperados.

Si bien múltiples hipótesis pueden derivarse de las funciones de impulso-respuesta obtenidas, como la sugerida por Tebaldi y Elmslie sobre la relación entre las instituciones y el capital humano (observada en la gráfica d de la Figura 13), este trabajo se centró en la hipótesis principal del modelo:

- El cambio tecnológico solo puede ocurrir en una economía con una estructura institucional adecuada y alineada con su nivel de desarrollo tecnológico, lo que implica la existencia de una combinación óptima entre avances tecnológicos y calidad institucional.

A pesar de las diferencias entre el modelo microeconómico y el modelo macroeconómico, ambos enfoques coinciden en un punto central: el cambio tecnológico está condicionado por la estructura institucional. No obstante, las limitaciones del enfoque neoclásico restringen la capacidad del modelo para generar hipótesis adicionales sobre los efectos diferenciados en distintas in-

dustrias, como las exploradas en la sección microeconómica. Asimismo, al asumir una evolución determinista del sistema, el modelo macroeconómico no logró explicar por qué, en contextos con condiciones iniciales similares, algunas economías convergen mientras otras divergen significativamente en sus trayectorias tecnológicas¹⁹.

¹⁹Para un análisis más detallado, véase el Anexo A.5.

CAPÍTULO IV

Revisión Literaria.

Capítulo 4: Revisión Literaria

4.1. Evidencia sobre el vínculo entre calidad institucional e innovación en la economía

Gran parte de la literatura ha enfatizado el impacto de la calidad institucional en el desarrollo económico, siguiendo los planteamientos de North (1990). En esta línea, Acemoglu et al. (2001) muestran que las instituciones, medidas a través de los indicadores de gobernanza del Banco Mundial, explican en gran medida las diferencias en el producto per cápita entre países. En particular, su estudio evidencia cómo la calidad institucional influye en la heterogeneidad de los niveles de desarrollo, destacando que los marcos institucionales de origen “extractivo” han resultado en un menor crecimiento económico en comparación con aquellos de carácter “inclusivo”. Un ejemplo de esta diferencia es el contraste entre los sistemas de origen legal francés, asociados a estructuras más centralizadas y restrictivas, y los de origen legal inglés, vinculados a una mayor protección de los derechos de propiedad y al desarrollo de mercados más competitivos.

La investigación de Rodrik (2000) también subraya la relevancia de las instituciones en la economía, haciendo énfasis en que el diseño institucional adecuado depende en gran medida de las condiciones locales y del conocimiento del mercado. Esto se debe, en parte, a la necesidad de que las instituciones formales estén alineadas con las instituciones informales, ya que estas últimas configuran las normas sociales, los valores y las prácticas que influyen en el funcionamiento efectivo de las primeras, tal como se mencionó anteriormente. Más recientemente, algunos estudios menos conocidos han analizado esta hipótesis a nivel micro-regional, en lugar de enfocarse en comparaciones entre países. Para México, German-Soto et al. (2021) y Ríos (2012) presentan evidencia en esta dirección, mientras que, para Italia, d'Agostino y Scarlato (2013) llega a conclusiones similares.

Por otro lado, la relación entre innovación y crecimiento económico, originalmente planteada por Schumpeter, ha sido ampliamente estudiada en la lite-

ratura debido a su relevancia para explicar las diferencias en el desarrollo económico entre países y regiones. Como se mencionó al inicio del trabajo, diversos estudios han abordado esta conexión desde distintas perspectivas.

Crosby (2000) analiza el papel de la innovación en la economía australiana a lo largo del siglo XX, destacando que un aumento en el nivel de patentamiento impulsa tanto la productividad laboral como el crecimiento económico. En este sentido, sus hallazgos sugieren que la inversión en I+D es un factor determinante del desempeño económico, advirtiendo que recortes en este ámbito podrían afectar negativamente la actividad económica australiana.

Contreras y Blanco (2008) estudian la relación entre la inversión en I+D y el crecimiento económico en Venezuela entre 1977 y 2007. Si bien no encuentran evidencia de causalidad directa, identifican una fuerte correlación entre la cantidad de innovaciones y el crecimiento del país.

A nivel interregional, German-Soto et al. (2021) examinan el caso mexicano, mientras que d'Agostino y Scarlato (2013) analizan la dinámica de innovación en Italia. Ambos estudios resaltan la importancia de las condiciones locales en la efectividad de las políticas de innovación, señalando que regiones con instituciones más sólidas y mercados laborales dinámicos han logrado aprovechar mejor las oportunidades tecnológicas para impulsar el crecimiento.

4.2. Evidencia sobre la interacción entre calidad institucional e innovación

Gran parte de la evidencia empírica macroeconómica se basa en el modelo propuesto por Tebaldi y Elmslie (2006), expuesto anteriormente. Estos autores coinciden con la evidencia presentada en la sección anterior sobre la relación entre calidad institucional y crecimiento económico, pero señalan la necesidad de un mecanismo subyacente que justifique dicha relación, lo que motiva el desarrollo de su modelo.

En sus trabajos posteriores (2008, 2013), Tebaldi y Elmslie muestran que una mejora en la calidad institucional incrementa la cantidad de patentes generadas por los países. A partir de los índices de gobernabilidad del Banco Mun-

dial, encuentran que las políticas “amigables al mercado”, al reducir los costos de transacción y mejorar la calidad institucional, generan un impacto positivo en la innovación. Asimismo, aclaran que los factores geográficos influyen en la innovación únicamente a través de las instituciones implementadas, lo que refuerza la importancia del marco institucional en el desarrollo tecnológico y económico. Para medir la innovación, estos autores utilizan la cantidad de patentes generadas, siguiendo la propuesta de Griliches (1979), quien las considera un buen indicador del resultado del proceso innovador, en lugar de un simple insumo de la innovación (como sucede con el nivel de recursos destinados a I+D).

Khan et al. (2017), bajo el mismo enfoque, utiliza el número de artículos publicados como medida de innovación, argumentando que el número de patentes no es necesariamente un indicador preciso, dado que no todas las patentes solicitadas son finalmente otorgadas. No obstante, esta interpretación es debatible, ya que, bajo el criterio de Schumpeter, los artículos científicos se encuentran relacionados con la invención, mientras que las patentes reflejan una etapa más cercana a la innovación, entendida como la aplicación y comercialización de nuevos productos o procesos en el mercado. Su aporte incorpora tanto los efectos de las instituciones formales como informales, demostrando que ambas son complementarias, especialmente en el caso de los países en desarrollo, donde las instituciones informales pueden compensar deficiencias en las estructuras formales y facilitar la adopción de prácticas innovadoras.

Oluwatobi et al. (2014) realiza estimaciones para países de África y señala que un entorno caracterizado por una baja calidad regulatoria, ineficacia gubernamental y corrupción fomenta comportamientos oportunistas por parte de los agentes económicos, lo que, a su vez, afecta negativamente la producción innovadora. Por su parte, Forson et al. (2020) realizan estimaciones similares para África, pero diferenciando a los países según sus régímenes educativos. En su análisis, emplea distintas medidas de innovación, entre ellas el número de patentes y la cantidad de artículos científicos. Ambos estudios encuentran evidencia significativa de que la calidad institucional es un determinante clave del nivel de innovación en los países.

Sin embargo, tanto estos últimos dos trabajos como los de Tebaldi y Elmslie presentan estimaciones de coeficientes mayores a uno, lo que implicaría que un aumento en la calidad institucional genera un incremento en la innovación superior al 100 %. Esta magnitud resulta inconsistente con la teoría, lo que sugiere posibles problemas de especificación en los modelos utilizados o errores de medición en la cuantificación de las instituciones²⁰.

Por otro lado, el trabajo de Donges et al. (2022) replica estas estimaciones considerando el caso del Imperio Alemán, mientras que, Canh et al. (2018), con una muestra de 84 países, encuentra coeficientes que sugieren que un aumento en la calidad institucional incrementa la innovación en un 30-40 %, lo que se alinea mejor con los resultados esperados.

No obstante, pocos estudios han enfatizado los posibles sesgos de selección. Acharya et al. (2010) estima los efectos de los cambios institucionales en las leyes laborales sobre la cantidad de innovación, utilizando el número de patentes otorgadas en lugar de las solicitadas. En su análisis, destacan este sesgo de selección y lo abordan incorporando el nivel de exportaciones e importaciones como variable de control, argumentando que los países tienden a registrar más patentes en mercados con mayor intercambio comercial. Tras corregir este sesgo, sus resultados también evidencian efectos positivos y una relación causal unidireccional.

Finalmente, otros estudios han probado esta hipótesis analizando sus efectos a nivel industrial. Por ejemplo, Rodríguez-Pose y Zhang (2020) estudian cómo la baja calidad gubernamental reduce el impacto de las políticas de fomento a la innovación en China, considerando tanto la innovación en procesos como en productos. Los indicadores utilizados en su análisis provienen de las encuestas empresariales del Banco Mundial (Enterprise Survey Unit). Aunque

²⁰“Cabe destacar que el tamaño estimado de los coeficientes asociados a las instituciones es mayor al previsto por Tebaldi y Elmslie (2006). En particular, el modelo desarrollado por estos autores asume que dicho coeficiente debería situarse entre 0 y 1, mientras que nuestras estimaciones sugieren que es superior a uno. Este resultado podría deberse a la presencia de errores de medición en la cuantificación de las instituciones o a una especificación imprecisa del modelo.” (Tebaldi & Elmslie, 2008, p. 12), traducción propia.

China suele considerarse un caso particular, dado que su “calidad institucional” relativa no parecería propiciar altos niveles de innovación, contrario a lo observado en la realidad, los autores encuentran evidencia significativa de que la calidad institucional desempeña un papel clave en el proceso innovador.

Si bien todos estos trabajos fundamentan parte de su análisis en la teoría de Schumpeter y las ideas evolucionistas, omiten una dimensión clave de su enfoque. En particular, el modo en que los distintos regímenes de innovación responden diferencialmente a los niveles de calidad institucional no ha sido estudiado en profundidad. Esta brecha se debe, en parte, a la escasez de datos y a la ausencia de una teoría que establezca hipótesis explícitas sobre estas clasificaciones. No obstante, abordar esta heterogeneidad podría ser crucial, ya que, como se desarrolla en el modelo microeconómico de este trabajo, es esperable que algunas industrias reaccionen de manera más pronunciada a mejoras institucionales que otras.

Probar las hipótesis formuladas sobre las diferencias entre cada “campo tecnológico”—entendido como un conjunto de actividades innovativas dentro de un paradigma tecnológico—(Capítulo 2) permitiría precisar con mayor claridad los mecanismos a través de los cuales las instituciones influyen en la innovación, así como optimizar el diseño de políticas públicas.

CAPÍTULO V

Metodología.

Capítulo 5: Metodología

A pesar de que los enfoques microeconómico y macroeconómico han permitido comprender los mecanismos a través de los cuales las instituciones afectan la innovación, resulta fundamental contrastar empíricamente las implicancias del modelo. En esta sección, se presentan las estimaciones econométricas que cuantifican dicho efecto.

5.1. Enfoque

Para llevar a cabo la estimación, se parte de la ecuación (7) de la sección macroeconómica, la cual puede reescribirse como

$$\Delta A_t = \delta_A A_{t-1}^{1-\phi} H_{A,t-1} T^\phi$$

donde ΔA_t mide la innovación, A_{t-1} indica el stock de tecnología de la economía, H_A corresponde al capital humano empleado en la industria de I+D, y T denota la calidad institucional de la economía.

Tomando logaritmos, se obtiene la siguiente ecuación:

$$\ln \Delta A_t = \beta_0 + \beta_1 \ln A_{t-1} + \beta_2 \ln H_{A,t-1} + \beta_3 \hat{T}$$

Dado que T es un índice ordinal, su escala no afecta los resultados, por lo que utilizar T o \hat{T} es equivalente en términos de estimación.

Se asume que los parámetros $1 - \phi$ y ϕ son positivos y menores que uno, lo que implica que los coeficientes β_1 y β_3 deben cumplir estas restricciones. Asimismo, dado que $\frac{\partial \Delta A}{\partial H} > 0$, se espera que el coeficiente asociado al capital humano, β_2 , sea positivo.

Por otro lado, aunque $\delta_A > 0$, para evitar trayectorias explosivas en la ecuación (7), es necesario que δ_A tome un valor suficientemente pequeño, lo que sugiere que el coeficiente β_0 sea negativo.

Incorporando un término de error y reparametrizando para las observaciones de este trabajo, se obtiene la siguiente ecuación a estimar por métodos econométricos:

$$\ln \Delta A_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 \ln A_{i,t-1} + \beta_2 \ln H_{i,t-1} + \beta_3 \hat{T}_{i,t} + \epsilon_{i,t}$$

donde i denota la entidad observada, t representa el período de tiempo, y ϵ es un término de error que recoge la variabilidad no explicada por las variables independientes del modelo.

Al desagregar por campo tecnológico, la ecuación a estimar adopta la siguiente forma expandida:

$$\ln \Delta A_{i,c,t} = \beta_{0,c} + \beta_1 \ln A_{i,t-1} + \beta_2 \ln H_{i,t-1} + \beta_{3,c} \hat{T}_{i,t} + \epsilon_{i,t} + v_{i,c,t}$$

donde $\ln \Delta A_{i,c,t}$ representa el cambio en el logaritmo natural de la variable A para la entidad i , el campo tecnológico c y el período t . En esta especificación, se introduce un intercepto específico para cada campo, $\beta_{0,c}$, y un coeficiente $\beta_{3,c}$ asociado a la variable tecnológica o institucional, permitiendo que su impacto varíe entre sectores. Además, el término de error $v_{i,c,t}$, distribuido de forma independiente y con media cero, captura la variabilidad no explicada dentro de cada categoría.

5.2. Proxies para “Innovación”

Como se indicó en el capítulo 1, establecer una medida precisa del nivel de innovación en una economía es una tarea compleja, como señala Griliches (1979). Siguiendo el enfoque de Tebaldi y Elmslie (2008), Tebaldi y Elmslie (2011) y Forson et al. (2020), se optó por utilizar el número de patentes como indicador de innovación. No obstante, al igual que Acharya et al. (2010), se consideró que el número de patentes otorgadas constituyen una mejor medida que las el número de patentes solicitadas. Esta métrica, ampliamente utilizada en la literatura, también ha sido empleada por Pavitt y Patel (1988) como indicador del desempeño de los sistemas nacionales de innovación.

Para ello, se emplearon los datos de European Patent Office (EPO) (2024), cuya disponibilidad y clasificación por “campos tecnológicos” permiten una mejor discriminación del tipo de innovación registrada. Esto dio lugar a un panel de datos no balanceado que cubre 39 países y recopila las patentes concedidas por la EPO entre 2014 y 2020, tamaño determinado exclusivamente por la disponibilidad de datos.

El uso de esta medida conllevó ciertos sesgos en la medición. En primer lugar, la decisión de patentar en Europa introdujo un sesgo de selección, ya que se espera que los países con mayores vínculos comerciales con Europa tengan más incentivos para registrar sus invenciones en la EPO en lugar de hacerlo en la USPTO u otras oficinas. En segundo lugar, la naturaleza de las patentes implicó que solo se capturara el conocimiento codificable, lo que dificultó la medición del conocimiento tácito en ciertas economías.

Dado que no es posible corregir el segundo sesgo mencionado, es importante señalar que los resultados reflejan únicamente el conocimiento codificable en una patente. Para abordar el primer sesgo, y a diferencia de omisiones en estudios previos de este tipo, se adoptó el enfoque de Acharya et al. (2010), como se indicó en el capítulo anterior. En consecuencia, se incorporó el nivel de comercio internacional como variable de ajuste.

Vale aclarar, una de las deficiencias de esta medida fue la incapacidad de diferenciar entre la “calidad” de la patente. Aunque otros estudios utilizan la cantidad de menciones de una patente como estimador de su grado de innovación, este trabajo estuvo limitado por los datos disponibles. En consecuencia, no fue posible diferenciar cuánta innovación incorporaba cada patente, tratándolas a todas como equivalentes.

5.2.1. “Campos Tecnológicos”

La EPO clasifica las patentes según su campo tecnológico, entendido como un conjunto de actividades innovativas dentro de un paradigma tecnológico, según lo definido en el marco teórico. Esta clasificación cuenta con 5 categorías principales y 35 subcategorías. La tabla 15, incluida en el anexo C.1, presenta la clasificación de la EPO con el contenido de cada categoría y subcategoría. La última columna de dicha tabla indica la clasificación, propuesta por Mesa y Gayo (1999), de cada campo tecnológico según el régimen de innovación, en línea con los criterios de Schumpeter I y Schumpeter II. Para ello, y conforme a lo desarrollado en el capítulo 2, los regímenes tecnológicos se caracterizan en función de cuatro dimensiones:

- Concentración: refiere a la cantidad de innovación que está concentrada en las principales firmas innovadoras, medida mediante el índice de concentración o el índice Herfindahl-Hirschmann (HH).
- Estabilidad: mide el grado de estabilidad o inestabilidad de las actividades de innovación de las empresas a lo largo del tiempo, es decir, la variabilidad de sus esfuerzos innovadores entre períodos.
- Natalidad: refleja la cantidad de nuevas firmas innovadoras que ingresan al mercado durante un periodo determinado.
- Tamaño innovación: se refiere al crecimiento de la cantidad de patentes en cada campo tecnológico.

Los datos utilizados por Mesa y Gayo (1999) para establecer el criterio de clasificación corresponden a España, Italia, Francia y Gran Bretaña. Aunque este estudio abarcó un conjunto más amplio de países, lo que podría sugerir la existencia de regímenes tecnológicos diferenciados, es esperable que esta generalización no resulte perjudicial debido a la similitud entre países, como señala Malerba y Orsenigo (1996).

Además, los datos de Mesa y Gayo cubren el período 1974-1995, lo que podría implicar ciertas limitaciones temporales en la clasificación aplicada. Si bien pueden producirse disruptpciones en las trayectorias tecnológicas, como argumenta Dosi (1982, 1988), se espera que las transiciones tecnológicas ocurran de manera gradual, siguiendo la propuesta de Scherer y Ross (1990). Estas consideraciones reforzaron la validez de la clasificación propuesta por Mesa y Gayo para este trabajo.

En este estudio, se optó por emplear únicamente las cinco categorías principales—ingeniería eléctrica, instrumentos, química, ingeniería mecánica y otros campos—para diferenciar los distintos campos tecnológicos. Esta decisión se fundamentó en la necesidad de evitar problemas de sobreidentificación y la complejidad excesiva que conllevaría el uso de subcategorías. Con base en lo expuesto, se decidió agregar las clasificaciones a nivel categórico, quedando definidas de la siguiente manera:

- **Ingeniería eléctrica:** Rutinizado.
- **Instrumentos:** Emprendedor.
- **Química:** Rutinizado.
- **Ingeniería mecánica:** Mixto.
- **Otros campos:** Sin Clasificación.

Según las hipótesis planteadas, y en línea con las características mencionadas en la sección microeconómica, se espera que los regímenes rutinizados exhiban trayectorias con un mayor nivel de patentes debido a los efectos de rendimientos de escala. Por otro lado, se espera que la interacción entre la variable institucional y el campo tecnológico tenga un coeficiente mayor en el régimen emprendedor, como se formuló en el capítulo 2.

5.3. Variables independientes

5.3.1. Stock de tecnología

A diferencia del trabajo principal en el que se basa esta investigación, en este estudio se utilizó la cantidad de publicaciones científicas realizadas en el año previo a la emisión de las patentes para capturar el stock inicial de conocimiento. Aunque los científicos no son necesariamente inventores y no todas las invenciones provienen directamente del conocimiento científico, la relación entre el nivel de tecnología y el volumen de literatura científica es clave, como señalan Nelson y Winter (1982, pp. 261-262). De manera similar, Forson et al. (2020) y Khan et al. (2017) consideran este indicador como una medida relevante del conocimiento. Sin embargo, en este análisis se empleó como una proxy del nivel tecnológico existente, en lugar de interpretarlo como un indicador directo del nivel de innovación de un país.

El indicador utilizado es el número de artículos científicos y técnicos reportado por National Science Foundation (2024) (NSF) en su indicador Science and Engineering. La NSF recopila estos datos a través de encuestas anuales a más de 60,000 entidades, incluyendo universidades, empresas y agencias

gubernamentales, con el objetivo de estimar la producción científica y tecnológica de diferentes países y regiones.

5.3.2. Stock de capital humano

Para medir el nivel de capital humano dedicado a la producción de innovación, se adoptó la metodología empleada en estudios previos en esta área. Se utilizó la cantidad de personal dedicado a la I+D por cada millón de personas, lo que permitió una comparación adecuada entre países en términos de la densidad de investigadores respecto a su población.

Los datos necesarios para esta medición son proporcionados por el UNESCO Institute for Statistics (2024). La UNESCO reporta anualmente la cantidad de investigadores en I+D a nivel mundial, lo que proporciona una fuente confiable para estimar el capital humano en términos de densidad por población. Sin embargo, es importante señalar que este indicador solo captura la cantidad de personal, sin considerar aspectos cualitativos como la formación, la especialización o el impacto de los investigadores en la innovación. Por ello, se consideró como una aproximación a la disponibilidad de capital humano para I+D, aunque no refleja necesariamente su efectividad o productividad en el ámbito innovador.

5.3.3. Participación importaciones de Europa

Como se mencionó en la sección anterior, para abordar los posibles sesgos derivados de la muestra utilizada, se incorporó el nivel de exportaciones de los países hacia la Unión Europea (UE). Los datos utilizados provienen de World Bank (2024b) de la *World Integrated Trade Solution* (WITS), que reporta datos sobre el comercio internacional de todos los países.

Para hacer los valores comparables, se calculó la proporción de exportaciones de cada país respecto al total de importaciones de la UE, eliminando así la unidad de medida monetaria. La fórmula utilizada es la siguiente:

$$\text{Participación importaciones} = \frac{\text{Valor exportaciones hacia la UE}}{\text{Valor total importaciones de la UE}}$$

Cabe destacar que, debido a la salida del Reino Unido de la Unión Europea, se excluyó a este país de los cálculos. Además, se verificó que la suma de las participaciones fuera inferior a 1 y que la evolución de estas proporciones a lo largo del tiempo no presentara inconsistencias metodológicas ni variaciones abruptas injustificadas.

5.3.4. Calidad institucional

Para medir la calidad regulatoria, se emplearon las mismas variables utilizadas en el estudio original de Tebaldi y Elmslie (2006). En particular, se consideraron los indicadores del *Worldwide Governance Indicators* (WGI) de World Bank (2024c) correspondientes a “Control de Corrupción”, “Calidad Regulatoria” y “Estado de Derecho”, y el indicador de Fraser Institute (2024), “Área 2” como medida del “Riesgo de Expropiación”. La información detallada sobre estas variables se presenta en la Tabla 7.

Por ejemplo, como señala Oluwatobi et al. (2014), un entorno caracterizado por una excesiva cantidad de trámites y procedimientos administrativos puede ralentizar el proceso de innovación o, en su defecto, generar incentivos para prácticas corruptas. Asimismo, la presencia de altos niveles de corrupción puede distorsionar los incentivos para innovar, dado que las decisiones económicas dependerán menos de la eficiencia y más de la capacidad de acceder a redes de influencia. A su vez, la ausencia de un Estado de Derecho sólido genera inseguridad jurídica para las empresas, mientras que un alto riesgo de expropiación introduce incertidumbre sobre la apropiabilidad de los retornos de la inversión en innovación.

Por estas razones, al igual que en estudios previos, se consideró que estas variables constituyen indicadores adecuados de la calidad institucional, según la definición propuesta en este trabajo.

Si bien las medidas empleadas en este estudio contienen un componente subjetivo, basado en las percepciones y opiniones de los encuestados, como señala Rodrik (2004), al igual que Oluwatobi et al. (2014), se consideró que siguen siendo las mejores disponibles para capturar el entorno institucio-

nal. Esto se debe a que las regulaciones per se no son instituciones, como Aoki (2001b, p. 28) señala, sino que es necesario que sean reconocidas por los individuos.

Nombre	Descripción	Fuente
Control de la Corrupción	Evalúa en qué medida la corrupción representa un obstáculo para la operación comercial y si es necesario recurrir a sobornos o pagos no oficiales para llevarla a cabo.	WGI
Calidad Regulatoria	Mide el grado en que los impuestos y permisos locales constituyen barreras para la operación comercial.	WGI
Estado de Derecho	Refleja la percepción sobre si los tribunales locales son justos, imparciales y libres de corrupción.	WGI
Riesgo de Expropiación	Evalúa el nivel de protección de la propiedad legítimamente adquirida.	EFW

Tabla 7: Descripción de las variables institucionales utilizadas en el estudio.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de World Bank (2024c) y Fraser Institute (2024)

Las variables institucionales utilizadas presentan distintos rangos de valores: algunas se expresan en una escala de (-2,5, 2,5), mientras que, otras utilizan un intervalo de (0,10). Para garantizar la comparabilidad entre ellas, todas se ajustaron a una escala común de (0,10), donde 0 representa la menor calidad institucional y 10 la mayor.

No obstante, es fundamental considerar la construcción de estos índices, ya que ambos implican una normalización de sus valores. Como resultado, los valores son comparables entre países en un mismo año, pero no a lo largo del tiempo. Debido a esta metodología, los cambios relativos y absolutos en la

calidad institucional pueden diferir entre distintos años. En particular, si existiera una tendencia global al alza o a la baja en la calidad institucional, esta no quedaría reflejada en los indicadores (Kaufmann & Kraay, 2024).

Esto implicó una limitación en las estimaciones; si todos los países mantienen su misma posición relativa en el ranking de calidad institucional a lo largo del tiempo—lo cual ocurrió en gran medida—no es posible incluir efectos fijos de entidad (entity fixed effects), ya que la calidad institucional quedaría absorbida por la categoría país. Por lo tanto, aunque se presentó un panel de datos, fue necesario tratar todas las observaciones como una sección cruzada, dado que la calidad institucional no varió de manera significativa a lo largo del tiempo en términos relativos entre los países.

5.4. Problemas de endogeneidad

Al enmarcar a la innovación dentro de un “Sistema Nacional de Innovación”, resultó ineludible reconocer su coevolución con las instituciones, tal como lo plantea Nelson (1994). Una ilustración de esta doble causalidad puede observarse en la industria automotriz. En los últimos años, el desarrollo de vehículos autónomos ha generado la necesidad de crear nuevas regulaciones viales, lo que a su vez ha fomentado nuevas innovaciones en el diseño y la seguridad de los vehículos.

Esta doble relación causal genera un problema de endogeneidad en las estimaciones, lo que implica que, si no se aborda adecuadamente, los coeficientes obtenidos para las variables institucionales estarían sesgados. Una forma de mitigar este problema es mediante el uso de variables instrumentales. Para que un instrumento sea válido, debe cumplir con dos condiciones fundamentales, según lo establece Wooldridge (2006). El instrumento debe ser *relevante*, es decir, estar correlacionado con la variable endógena, y *exógeno*, lo que implica que no debe estar correlacionado con el término de error de la ecuación de patentes.

Dentro de la literatura sobre instituciones, es común utilizar el origen legal como variable instrumental. Este se asume como una influencia en la configu-

ración institucional de cada país sin estar directamente correlacionado con la evolución actual de la economía. Estudios como el de Acemoglu et al. (2001) han empleado este enfoque para analizar el impacto de las instituciones en el crecimiento económico, respaldando así su validez como instrumento en este tipo de estimaciones.

Por lo tanto, se realizaron las estimaciones mediante variables instrumentales, junto con los tests de sobreidentificación y relevancia, con el fin de evaluar la validez del instrumento utilizado, cuyos resultados se presentan posteriormente. La Figura 26, ubicada en el Anexo C.4, presenta el origen legal del marco institucional para los países de la muestra, siguiendo la clasificación propuesta por La Porta et al. (2007).

5.5. Método de estimación

Para las estimaciones del modelo, se optó por utilizar el Método de Momentos Generalizados (GMM) en lugar de los Mínimos Cuadrados Ordinarios (OLS), tal como lo hizo Tebaldi y Elmslie (2011). La razón de esta elección radica en que el enfoque GMM se ajusta mejor a situaciones en las que existen problemas de endogeneidad, a diferencia de OLS. Además, el GMM ofrece mayor flexibilidad frente a la heterocedasticidad, lo que permite obtener estimaciones más eficientes y robustas en presencia de estas condiciones. Según Stock y Watson (2008), un estimador de variables instrumentales (IV) eficiente se convierte en un estimador GMM eficiente cuando existen condiciones de heterocedasticidad, lo que refuerza la idoneidad del GMM para este tipo de análisis. Este mismo argumento es respaldado por Oluwatobi et al. (2014), lo que refuerza aún más su conveniencia para el análisis en cuestión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados y discusión

6.1. Estadística descriptiva

El Anexo C.2 presenta la estadística descriptiva de las variables utilizadas en el análisis. En particular, la Tabla 16 reporta el número de observaciones para cada variable y la estadística descriptiva de los datos agregados a nivel de país. Asimismo, se incluyen las descripciones de las clasificaciones de Origen Legal y Campo Tecnológico, donde la dimensión temporal se eliminó mediante el cálculo del promedio por país. Este enfoque permitió identificar diferencias en la producción de patentes según el origen legal del marco institucional. En particular, los países con origen legal inglés mostraron una mayor producción de patentes, mientras que aquellos con origen legal francés presentaron la menor cantidad. Esta observación fue consistente con los hallazgos de Acemoglu et al. (2001). Como se mencionó en la sección de Revisión Literaria, las instituciones inclusivas fomentan el crecimiento, mientras que las extractivas lo limitan; en este caso, el análisis se extiende a la cantidad de innovación.

Se realizó un análisis similar para la clasificación por campo tecnológico, donde se observó que la industria de *Ingeniería Eléctrica* registra el mayor número de patentes. Este resultado fue consistente con la discusión presentada en el apartado 5.2.1, donde se indicó que los regímenes de innovación rutinizados generan más patentes que los regímenes emprendedores. En contraste, la categoría de *Instrumentos* presentó una menor cantidad de patentes, excluyendo la clasificación *Otros Campos* que no estuvo asociada a un régimen tecnológico específico.

Por otro lado, al considerar todas las observaciones a lo largo del tiempo sin agrupar por país, la Figura 24 muestra un BoxPlot del logaritmo del número de patentes por campo tecnológico. Esta representación facilitó la visualización de la distribución de las patentes. Ordenadas de mayor a menor media, se observó que la *Industria Química* destacó como la que generó la mayor cantidad de patentes, mientras que la categoría de *Instrumentos* siguió sien-

do la de menor volumen, excluyendo nuevamente *Otros Campos*. Además, no se identificaron valores atípicos significativos en la distribución del número de patentes dentro de esta clasificación.

Por otra parte, la Figura 21 muestra la matriz de correlación de las variables utilizadas en el análisis, lo que permitió identificar, de manera preliminar, posibles problemas de colinealidad entre ellas, complementado con sus respectivos test de significancia. En particular, se observó que las variables de calidad institucional presentan una correlación lineal cercana a 1, lo que sugirió no incluirlas simultáneamente en una misma regresión, dado que contienen información altamente relacionada. Algunos trabajos optan por realizar un *Análisis de Componentes Principales* para sintetizar estas variables en un solo índice, pero esta metodología presenta una limitación importante en este caso: debido a la alta similitud en la relación entre las variables, el peso del componente principal tiende a concentrarse en una única variable, reduciendo la capacidad de capturar efectos diferenciados. Por esta razón, se optó por evaluar distintos modelos en los que estas variables se incluyan de manera separada, lo que facilitó una mejor identificación de su impacto específico en los resultados.

De manera similar, se evidenció una relación significativa entre las variables de origen legal y las variables institucionales, lo que indica que el origen legal constituye un instrumento relevante en el contexto del análisis, como se observó en la tabla descriptiva.

Dado el alto grado de correlación entre las variables institucionales, las Figuras 22 y 23 utilizaron la media aritmética de estas cuatro variables para describir la distribución de la calidad institucional. En la primera de estas figuras, se observó que China es uno de los países con menor calidad institucional. Sin embargo, al graficar la relación entre calidad institucional y el número de patentes (en escala logarítmica), como se muestra en la Figura 23, se evidenció que China presenta, en promedio (sin considerar la dimensión temporal), uno de los niveles más altos de innovación. Al realizar una regresión del logaritmo del número de patentes sobre el promedio de las variables institucionales, la recta de tendencia (línea roja en la figura) mostró una relación positiva entre ambas variables. No obstante, al excluir a China de la estimación (línea azul

en la figura), se observó que la pendiente de la regresión es aún mayor. Aunque el caso de China podría interpretarse como una aparente contradicción de la teoría, al presentar altos niveles de innovación a pesar de una baja calidad institucional, este resultado no debe considerarse un contrasentido. Estudios específicos a nivel nacional, como el de Rodríguez-Pose y Zhang (2020), han encontrado evidencia consistente con el marco teórico propuesto, incluso en el caso chino. Una posible explicación para esta discrepancia podría radicar en el papel de las instituciones informales y la aceptación cultural de las instituciones formales en China, donde el régimen, a pesar de su carácter autoritario, es percibido como parte integral de la estructura social. Además, las políticas de incentivos hacia la innovación implementadas por el régimen chino también pueden haber sido un factor relevante en la promoción de la innovación, aun cuando la calidad institucional formal sea baja.

A partir de los hallazgos obtenidos en la estadística descriptiva, el análisis econométrico se centró en examinar la relación entre calidad institucional e innovación. Específicamente, se buscó poner a prueba la hipótesis de que una mayor calidad institucional está asociada positivamente con la producción de patentes, controlando por otras características específicas de cada país.

6.2. Estimación básica

En esta sección, se presentan los resultados de la regresión básica como punto de partida para el análisis econométrico. El objetivo de esta regresión fue evaluar la relación entre calidad institucional e innovación sin controlar por endogeneidad, proporcionando así una primera aproximación al impacto de las instituciones en la generación de patentes.

La Tabla 8 presenta una comparación entre dos especificaciones: (1) un modelo sin la variable que captura el sesgo de selección y (2) un modelo que la incorpora para evaluar su relevancia.

Como se observa, todos los coeficientes obtenidos resultaron estadísticamente significativos al nivel del 1 % en la especificación (1). Además, la Figura 25, ubicada en el Anexo C.3, muestra que los errores se distribuyeron de manera

aproximadamente normal, lo que valida que, bajo la correcta especificación del modelo, los intervalos de confianza sean confiables y la significatividad estadística sea precisa.

Para el resto de las estimaciones, no se presentan QQ-plots para ilustrar la normalidad de los errores. En todos los casos, el test de Shapiro-Wilk²¹ mostró una reducción en la significatividad, lo que sugiere cierto alejamiento de la distribución normal. Sin embargo, dado que en todas las especificaciones el p-valor del test siguió superando el umbral del 1 %, no se pudo rechazar la hipótesis de normalidad a este nivel de significancia. A pesar de esta ligera disminución en la significatividad del test, los coeficientes estimados no mostraron diferencias sustanciales entre las especificaciones, lo que sugiere que los resultados son robustos.

Al incluir la variable de participación en las importaciones de Europa, el efecto de las instituciones se redujo, aunque todas las variables conservaron su significancia estadística. Esto sugiere la presencia de un sesgo de selección derivado de la restricción de la muestra, cuyo signo fue consistente con lo esperado según el capítulo anterior.

Al comparar estos resultados con los obtenidos por Tebaldi y Elmslie (2008), se observó que los valores de las variables institucionales fueron inferiores. Aunque la diferencia fue estadísticamente significativa, según las especificaciones del modelo y como señalaron Tebaldi y Elmslie, era esperable que los valores de las proxies institucionales fueran similares a los obtenidos en este trabajo, lo que refuerza la consistencia de la metodología, tal como se discutió en la Revisión Literaria. Además, estos coeficientes se aproximaron a los reportados por Canh et al. (2018) y Donges et al. (2022). Por otra parte, en línea con Oluwatobi et al. (2014), se encontró que la *Calidad Regulatoria* (RQ) y el *Estado de Derecho* (LR) tuvieron un efecto mayor que el *Control de la Corrupción* (CC), lo que respalda la validez de las estimaciones.

²¹Si bien no se incluyen en el documento por razones de espacio, las gráficas y tests están disponibles a solicitud.

Variable	log (Número Patentes)							
	(1): CC	(1): RQ	(1): LR	(1): ER	(2): CC	(2): RQ	(2): LR	(2): ER
Intercepto	-12,331*	-16,298*	-13,428*	-15,749*	-12,282*	-15,864*	-13,131*	-15,298*
log (Art. Cient)	1,0830*	1,1213*	1,0928*	1,0852*	0,9561*	0,9824*	0,9457*	0,9244*
log (Cap. Humano)	0,4361*	0,7448*	0,4808*	0,8272*	0,6027*	0,9132*	0,6440*	1,0080*
Part. Importaciones					0,1558*	0,1620*	0,1804*	0,1952*
CC	0,5988*				0,5321*			
RQ		0,7230*				0,6184*		
LR			0,6705*				0,5960*	
ER				0,5961*				0,4967*
Adj. R-squared	0,8448	0,8314	0,8341	0,8138	0,8543	0,8416	0,8474	0,8294
F-statistic	1232,3*	1241,4*	1348,0*	932,43*	1702,7*	1554,2*	1708,6*	1318,2*
BP-statistic	14,5435*	26,9554*	19,5191*	38,1637*	14,9764*	25,5942*	18,5108*	34,3825*

Tabla 8: Resultados de regresión GMM

○: Significativo al 10 %, +: Significativo al 5 %, *: Significativo al 1 %

CC: Control de Corrupción, RQ: Calidad Regulatoria, LR: Estado de Derecho, ER: Riesgo de Expropiación. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, el valor obtenido para la variable de stock de tecnología (el logaritmo de artículos científicos en este caso) fue mayor que el reportado por Tebaldi y Elmslie (2008), quien utilizó la producción de libros como proxy. Esta diferencia se explica, en parte, por la alta correlación observada en la matriz de correlación (Figura 21). No obstante, se consideró que esta variable representa una mejor aproximación para medir el stock de conocimiento, en línea con lo sugerido por Nelson y Winter (1982) y de manera similar a Forson et al. (2020), como se indicó en el capítulo anterior.

Asimismo, como se observa en la última línea de la Tabla 8, la prueba de Breusch-Pagan indicó la presencia de heterocedasticidad en todas las especificaciones. Este resultado refuerza la adecuación de la estrategia de estimación, asegurando que los errores estándar sean robustos y que las inferencias obtenidas sean válidas.

6.3. Abordando la endogeneidad

Como se indicó anteriormente, la presencia de endogeneidad puede sesgar las estimaciones de manera significativa.

Para abordar este problema, se realizó en primer lugar un test ANOVA, utilizando el origen legal del marco institucional como variable explicativa de la media de las variables institucionales. Este procedimiento permitió evaluar si dicha variable categórica cumple con la condición de relevancia mencionada previamente. Como se observa en la tabla 17 en el anexo C.4, el origen legal actuó como un buen clasificador, en línea con lo observado en la sección de estadística descriptiva.

La Tabla 9 presenta los resultados obtenidos al emplear variables instrumentales en las estimaciones. Como se observa, el uso de esta variable instrumental modificó los coeficientes estimados para las variables de calidad institucional. En comparación con la Tabla 8, todos los coeficientes fueron menores y su significatividad se redujo, aunque continuaron siendo estadísticamente significativos al 5 %. Este cambio en la magnitud y significatividad de los coeficientes confirmó la existencia de endogeneidad y la necesidad de emplear variables

instrumentales válidas para obtener estimaciones insesgadas. La reducción en la significatividad sugirió que la endogeneidad estaba inflando los coeficientes en la regresión básica, lo que reforzó la necesidad de corregir este sesgo y brindó mayor confianza en los resultados obtenidos mediante el uso de instrumentos.

Este resultado contrastó con los hallazgos de Tebaldi y Elmslie, quienes reportaron un aumento en sus coeficientes luego de aplicar el instrumento. No obstante, como ellos mismos señalaron, los valores obtenidos en su estudio superan los rangos esperados, lo que sugiere que los valores propuestos por estos autores estén sesgados.

Variable	log (Número Patentes)			
Modelo	(IV): CC	(IV): RQ	(IV): LR	(IV): ER
Intercepto	-16,372*	-15,730*	-17,449*	-16,375*
log (Art. Cient)	0,9050*	0,9025*	0,9106*	0,9181*
log (Cap. Humano)	1,4423*	1,2534*	1,4967*	1,2571*
Part. Importaciones	0,2069*	0,2106*	0,2072*	0,2065*
CC	0,1884+			
RQ		0,3115+		
LR			0,2622+	
ER				0,3688+
Adj. R-squared	0,8360	0,8390	0,8313	0,8280
F-statistic	1489,7*	1533,3*	1447,8*	1440,4*
BP-statistic	35,452*	35,9839*	28,5832*	38,1470*
Instrumento	Origen Legal: francés, alemán, escandinavo.			

Tabla 9: Resultados de regresión IV-GMM

o: Significativo al 10 %, +: Significativo al 5 %, *: Significativo al 1 %

CC: Control de Corrupción, RQ: Calidad Regulatoria, LR: Estado de Derecho, ER: Riesgo de Expropiación. Fuente: Elaboración propia.

Para verificar que los instrumentos utilizados cumplieron con la segunda

condición, conocida como la condición de *exclusión*, se llevó a cabo la prueba de Hansen-J, la cual evaluó si existía correlación entre los residuos y las variables instrumentales. La Tabla 18, ubicada en el Apéndice C.4, muestra que los instrumentos satisficieron esta condición, lo que reforzó la validez de la estrategia utilizada. En consecuencia, esto incrementó la fiabilidad de los resultados.

A pesar de que los instrumentos cumplieron con las condiciones de relevancia y exclusión, no se pudo descartar completamente la posibilidad de que otros factores no observados afectaran las estimaciones. Asimismo, fue necesario mantener cautela al aceptar por completo la condición de exclusión, dado que esta sigue siendo una suposición teórica. No obstante, los hallazgos obtenidos y la literatura empírica existente sugieren que la endogeneidad fue abordada de manera adecuada, lo que mejoró la robustez y confiabilidad de las estimaciones.

6.4. Estimación por “Campo Tecnológico”

Para realizar las estimaciones según campo tecnológico, no se emplearon variables instrumentales. Esto se debió a que, para poder utilizarlas, la cantidad de instrumentos debía ser al menos tan grande como la cantidad de variables endógenas, en cumplimiento de la condición de identificación. Al interactuar la variable de calidad institucional con la categoría de campo tecnológico, se generaron cinco variables endógenas, mientras que la variable instrumental utilizada, el origen legal, solo contaba con cuatro categorías: inglés, francés, escandinavo y alemán. Por lo tanto, no fue posible implementar una estimación con variables instrumentales y únicamente se pudieron obtener conclusiones a partir de la regresión sin instrumentos.

No obstante, dado lo observado en la sección anterior, se sabe que los coeficientes obtenidos estuvieron sobreestimados debido a la endogeneidad. Sin embargo, el objetivo de esta regresión fue evaluar si las diferencias entre categorías fueron significativas, aun cuando se reconoció la existencia de sesgo en las estimaciones.

Variable	log (Número Patentes)			
Modelo	(TF): CC	(TF): RQ	(TF): LR	(TF): ER
Intercepto	-12,892*	-13,898*	-16,295*	-16,030*
log (Art. Cient)	0,9123*	0,9070*	0,9368*	0,8874*
log (Cap. Humano)	0,6095*	0,6544*	0,9150*	1,0261*
Part. Importaciones	0,1644*	0,1864*	0,1711*	0,2000*
CC	0,4726*			
RQ		0,5492*		
LR			0,5444*	
ER				0,4363*
Ingeniería Eléctrica	-1,1292+	-0,9856○	-1,0666	-0,8835
Instrumentos	-1,2852*	-1,4540*	-1,6750*	-1,7740*
Ingeniería Mecánica	-0,1597	0,0741	-0,1740	-0,1326
Otros Campos	-0,0619	0,2694	0,2765	0,3382
Ins x Ing. Eléctrica	0,1133○	0,0897	0,0988	0,0736
Ins x Instrumentos	0,1050+	0,1253+	0,1558+	0,1661+
Ins x Ing. Mecánica	0,0226	-0,0102	0,0235	0,0182
Ins x Otros Campos	-0,1051+	-0,1478+	-0,1476+	-0,1545○
Adj. R-squared	0,8116	0,8043	0,7976	0,7868
F-statistic	6356,0*	6340,7*	5969,4*	5040,0*
BP-statistic	100,0274*	154,6972*	123,5017*	169,9081*

Tabla 10: Resultados de regresión GMM por Campo Tecnológico

○: Significativo al 10 %, +: Significativo al 5 %, *: Significativo al 1 %

FT: Field of Technology, CC: Control de Corrupción, RQ: Calidad Regulatoria, LR: Estado de Derecho, ER: Riesgo de Expropiación, Ins: Instituciones. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados se presentan en la Tabla 10, utilizando el campo tecnológico *Química* como categoría base. De este modo, las variables que representaron los distintos campos tecnológicos (Ingeniería Eléctrica, Instrumentos e Ingeniería Mecánica) reflejaron el aumento o disminución en la cantidad de patentes en comparación con la categoría química, manteniendo constantes

el resto de las variables. El intercepto indicó el valor para el sector químico. Al igual que en la interacción entre calidad institucional y campo tecnológico, las variables de interacción mostraron la diferencia respecto a la interacción de calidad institucional con el campo tecnológico químico. De esta manera, el valor de calidad institucional se asumió como el correspondiente a la categoría base, *Química*.

Los coeficientes estimados mostraron que no hubo diferencias significativas en la cantidad de patentes entre los sectores de química, ingeniería eléctrica e ingeniería mecánica, como se observa en la tabla. Sin embargo, en el caso de la categoría *Instrumentos*, la cantidad de patentes resultó significativamente menor. Este resultado fue consistente con lo observado en las simulaciones de la sección microeconómica, donde el régimen rutinizado generó un mayor número de patentes en comparación con el régimen emprendedor.

En cuanto a la interacción entre la categoría de campo tecnológico y la calidad institucional, no se observaron diferencias significativas entre los sectores que pertenecen al régimen rutinizado, mencionados anteriormente. No obstante, en el sector de *Instrumentos*, el impacto de una mejora en la calidad institucional sobre la cantidad de patentes fue mayor, lo cual resultó consistente con las hipótesis sobre las diferencias en el efecto de las instituciones según el régimen de innovación.

Si bien las estimaciones principales se realizaron utilizando el método que sigue la mayoría de la literatura, se estimaron las mismas ecuaciones mediante métodos alternativos para evaluar la robustez de los resultados. En primer lugar, se realizaron estimaciones sin instrumentos utilizando el método de mínimos cuadrados (OLS). En segundo lugar, se emplearon métodos con instrumentos, específicamente mínimos cuadrados en dos etapas (2SLS) y máxima verosimilitud instrumental limitada (LIML). Dado que, en las estimaciones de las secciones 6.2 y 6.4, los resultados obtenidos por GMM y OLS son idénticos, no se presentan estas estimaciones en el trabajo²². En el caso de las estimaciones de la sección 6.3, el anexo C.5 presenta los resultados

²²Estas están disponibles a consulta para verificación.

obtenidos con las técnicas “alternativas”. Este anexo demuestra que las estimaciones con instrumentos son consistentes entre los diferentes estimadores.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Conclusión y recomendaciones

Bajo el marco teórico propuesto por Nelson y Winter (1982) y Tebaldi y Elmslie (2006), este trabajo buscó contribuir a la literatura realizando un análisis de las teorías propuestas y explorando su conexión con la evidencia empírica. En particular, se reestimaron las ecuaciones de Tebaldi y Elmslie con el objetivo de obtener resultados más consistentes con la teoría y de incorporar la dimensión sectorial a través de la clasificación por campos tecnológicos. Los hallazgos obtenidos refuerzan la hipótesis de que la calidad institucional desempeña un papel fundamental en la generación de innovación. En línea con la literatura previa, se observó una relación positiva entre la calidad institucional y la cantidad de patentes. Si bien las estimaciones difirieron de otros trabajos al mostrar un efecto significativamente menor de la calidad institucional, estos resultados fueron más consistentes con la teoría, lo que sugiere que este estudio pudo haber mitigado el sesgo identificado en otros trabajos, como Tebaldi y Elmslie (2008) reconocen.

Además, la introducción de la dimensión de campo tecnológico permitió evaluar el efecto diferencial de la calidad institucional según el régimen de innovación predominante. Se observó que, en sectores caracterizados por un régimen rutinizado, la relación entre instituciones y la producción de patentes fue relativamente menor en comparación con el régimen emprendedor. Esta hipótesis, respaldada por las simulaciones generadas y la incorporación explícita de las instituciones en el modelo de Winter (2004), confirmó que la acumulación creativa sigue un proceso distinto al de la destrucción creativa. Mientras que el primero se asocia con una mayor estabilidad y desarrollo incremental de la innovación, el segundo está sujeto a una mayor volatilidad. Se consideró que las simulaciones y resultados fueron consistentes con las características de cada régimen detalladas por Malerba y Orsenigo (1995). Por otro lado, el abordaje de los problemas de endogeneidad a través de variables instrumentales permitió obtener estimaciones más precisas del impacto de la calidad institucional en la innovación. Para ello, al igual que acostumbra la literatura institucional, se utilizó el origen legal del marco institucional, pro-

puesto por La Porta et al. (2007), como variable instrumental. Sin embargo, debido a problemas de subidentificación en la regresión por campo tecnológico, no fue posible aplicar esta estrategia en dicho caso. No obstante, dado que el objetivo principal fue verificar la hipótesis sobre las diferencias en los efectos de la calidad institucional entre régimenes de innovación, se consideró que los resultados siguen siendo relevantes para el análisis.

Pese a ello, es importante reconocer algunas limitaciones del estudio. La imposibilidad de emplear variables instrumentales en el análisis por campo tecnológico introdujo un sesgo en la estimación de los efectos diferenciales entre sectores, y, como se mencionó, es de esperar que los coeficientes institucionales hayan sido sobreestimados. Asimismo, el uso de patentes como proxy de innovación, aunque ampliamente utilizado en la literatura, no capturó completamente la generación de conocimiento, especialmente en sectores donde la innovación puede no estar protegida por derechos de propiedad intelectual, como se indicó anteriormente.

Además, este trabajo no consideró a los países que optan por no patentar en la EPO, lo que introdujo una distribución truncada en los datos y podría haber afectado la validez externa de los resultados. Una extensión futura podría indagar en las condiciones necesarias para que un país comience a patentar e innovar, analizando qué factores institucionales, económicos o tecnológicos determinan la decisión de ingresar al sistema de patentes. Para abordar la distribución truncada, se podría haber utilizado el modelo de Heckman (Heckit), lo que habría permitido corregir el sesgo de selección y estimar de manera más precisa el impacto de las patentes en la innovación y el crecimiento.

Por otro lado, la inclusión de efectos espaciales podría haber Enriquecido el análisis de la innovación. Como se mencionó en la sección sobre los Sistemas Nacionales de Innovación, este trabajo hizo énfasis en las instituciones que caracterizan a cada nación. No obstante, podría haberse considerado el concepto de “regionalismo”, propuesto por Lundvall (2010), que sugiere que la innovación no ocurre en aislamiento, sino dentro de sistemas interconectados. Incorporar dinámicas espaciales habría permitido capturar de manera más precisa la influencia de la proximidad geográfica, la cooperación entre

agentes y la difusión del conocimiento en el desarrollo tecnológico.

En conjunto, estos resultados destacaron la relevancia de las instituciones como determinantes del proceso innovador y evidenciaron que su efecto no es homogéneo, sino que varía según el tipo de régimen de innovación predominante en cada sector.

Estos hallazgos tienen implicaciones clave para el diseño de políticas públicas orientadas a fortalecer la calidad institucional como motor de la innovación. En particular, los resultados sugirieron que los sectores con alta dependencia de la estabilidad regulatoria podrían beneficiarse de marcos institucionales más sólidos que fomenten el desarrollo tecnológico. Además, estos conocimientos subrayaron la importancia de ajustar los marcos regulatorios según las características específicas de cada sector y el nivel de desarrollo institucional de cada país.

A la par de lo señalado por Lundvall (2010), los resultados no solo reforzaron la capacidad del paradigma evolucionista para explicar los procesos de innovación y su interacción con las instituciones, sino que también subrayaron la necesidad de revisar cómo se abordan estos fenómenos. En contraste con las limitaciones de la teoría ortodoxa, cuya rigidez dificulta la comprensión de dinámicas complejas, el enfoque evolucionista se presentó como una alternativa más flexible y adecuada, tal como lo demostró la validación de las hipótesis de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

- Acemoglu, D., Johnson, S., & Robinson, J. A. (2001). The Colonial Origins of Comparative Development: An Empirical Investigation. *American Economic Review*, 91(5), 1369-1401. <https://doi.org/10.1257/aer.91.5.1369>
- Acharya, V., Baghai, R., & Subramanian, K. (2010). Labor Laws and innovation. *National Bureau of Economic Research*, (16484). <https://doi.org/10.3386/w16484>
- Aghion, P., & Howitt, P. (1992). A Model of Growth Through Creative Destruction. *Econometrica*, 60(2), 323. <https://doi.org/10.2307/2951599>
- Akerlof, G. A. (1970). The market for "Lemons": quality uncertainty and the market mechanism. *The Quarterly Journal of Economics*, 84(3), 488. <https://doi.org/10.2307/1879431>
- Alston, E., Alston, L. J., Mueller, B., & Nonnenmacher, T. (2018). Institutions and property rights. En E. Alston, L. J. Alston, B. Mueller & T. Nonnenmacher (Eds.), *Institutional and Organizational Analysis* (pp. 31-57). Cambridge University Press eBooks. <https://doi.org/10.1017/9781316091340.002>
- Andersen, E. (2001). Toward a multiactivity generalisation of the Nelson-Winter model. *2001 Nelson and Winter Conference, Organised by DRUID*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Toward-a-Multiactivity-Generalisation-of-the-Model-Andersen/7a95497792bc1cc1130943685cd58973e1a0bf36>
- Aoki, M. (2001a). A Game-Theoretic concept of institutions. En M. Aoki (Ed.), *Comparative Institutional Analysis* (pp. 185-206). The MIT Press eBooks. <https://doi.org/10.7551/mitpress/6867.003.0010>
- Aoki, M. (2001b). What are institutions? how should we approach them? En M. Aoki (Ed.), *Comparative Institutional Analysis* (pp. 1-30). The MIT Press eBooks. <https://doi.org/10.7551/mitpress/6867.003.0002>
- Arrow, K. J. (1962). The economic implications of learning by doing. *The Review of Economic Studies*, 29(3), 155. <https://doi.org/10.2307/2295952>

- Arthur, W. B. (1989). Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events. *The Economic Journal*, 99(394), 116. <https://doi.org/10.2307/2234208>
- Barro, R. J., & Lee, J. W. (1996). International measures of schooling years and schooling quality. *The American Economic Review*, 86(2), 218-223. <https://www.jstor.org/stable/2118126>
- Baumol, W. J. (1990). Entrepreneurship: Productive, Unproductive, and Destructive. *Journal of Political Economy*, 98, 893-921. <https://www.jstor.org/stable/2937617>
- Becker, G. S. (1964). Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education. *SSRN Electronic Journal*. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1496221
- Canh, N. P., Schinckus, C., & Thanh, S. D. (2018). Do economic openness and institutional quality influence patents? Evidence from GMM systems estimates. *International Economics*, 157, 134-169. <https://doi.org/10.1016/j.inteco.2018.10.002>
- Cimoli, M., & della Giusta, M. (1998). The Nature of Technological Change and Its Main Implications on National and Local Systems of Innovation. *International Institute for Applied Systems Analysis*.
- Clementino, J. B. D. N., & Barrenechea, M. H. V. (2022). An implementation on Python of the Classical Nelson and Winter Models. *Economia Ensaio*, 37(esp.ago.). <https://doi.org/10.14393/ree-v37nesp.ago.a2022-66702>
- Coase, R. H. (1937). The Nature of the Firm. *Economica*, 4(16), 386-405. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0335.1937.tb00002.x>
- Coase, R. H. (1984). The new institutional economics. *Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft / Journal of Institutional and Theoretical Economics*, Bd. 140, H. 1., *The New Institutional Economics: A Symposium*, 229-231. <https://www.jstor.org/stable/40750690>
- Coase, R. H. (1988). *The firm, the market, and the law*. University of Chicago Press.
- Contreras, J., & Blanco, J. (2008). Innovación y Crecimiento económico. *Colección Economía y Finanzas*, (103).

- Crosby, M. (2000). Patents, Innovation and Growth. *Economic Record*, 76(234), 255-262. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4932.2000.tb00021.x>
- d'Agostino, G., & Scarlato, M. (2013). Innovation, Socio-institutional Conditions and Economic Growth in the Italian Regions. *Regional Studies*, 49(9), 1514-1534. <https://doi.org/10.1080/00343404.2013.838000>
- Darwin, C. (2001). *On the Origin of Species*. The Pennsylvania State University.
- David, P. A. (1985). Clio and the Economics of QWERTY. *The American Economic Review*, 75(2), 332-337. <https://www.jstor.org/stable/1805621>
- David, P. A. (2005). Path dependence in economic processes: implications for policy analysis in dynamical system contexts. En K. Dopfer (Ed.), *The Evolutionary Foundations of Economics* (pp. 149-194). Cambridge University Press eBooks. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511492297.006>
- Dixit, A. K., & Stiglitz, J. E. (1977). Monopolistic competition and optimum product diversity. *American Economic Review*, 67(3), 302-304. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.268957>
- Donges, A., Meier, J.-M., & Silva, R. C. (2022). The Impact of Institutions on Innovation. *Management Science*, 69(4), 1951-1974. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2022.4403>
- Dosi, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories. *Research Policy*, 11(3), 147-162. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(82\)90016-6](https://doi.org/10.1016/0048-7333(82)90016-6)
- Dosi, G. (1988). Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation. *Journal of Economic Literature*, 26(3), 1120-1171. <https://www.jstor.org/stable/2726526>
- Dosi, G. (1995a). Hierarchies, Markets and Power: Some foundational issues on the nature of contemporary economic organizations. *Industrial and Corporate Change*, 4(1), 1-19. <https://doi.org/10.1093/icc/4.1.1-a>
- Dosi, G. (1995b). The Contribution of Economic Theory to the Understanding of a Knowledge-Based Economy. *International Institute for Applied Systems Analysis*, (WP-95-56).

- Douma, S., & Schreuder, H. (2017). Evolutionary approaches to organizations. En *Economic approaches to organizations* (6.^a ed., pp. 288-327). Pearson Education Limited.
- Espino, J. A. (1999). *Instituciones y economía*. Fondo de Cultura Económica USA.
- European Patent Office (EPO). (2024). Data download. <https://www.epo.org/en/about-us/statistics/data-download>
- Forson, J. A., Opoku, R. A., Appiah, M. O., Kyeremeh, E., Ahmed, I. A., Addo-Quaye, R., Peng, Z., Acheampong, E. Y., Bingab, B. B. B., Bosomtwe, E., & Awoonor, A. K. (2020). Innovation, institutions and economic growth in sub-Saharan Africa – an IV estimation of a panel threshold model. *Journal of economic and administrative sciences.*, 37(3), 291-318. <https://doi.org/10.1108/jeas-11-2019-0127>
- Fraser Institute. (2024). Economic Freedom of the World. <https://www.freedomoftheworld.org/economic-freedom/dataset?geozone=world&year=2022&page=dataset&min-year=2&max-year=0&filter=0>
- Freeman, C. (1995). The ‘National System of Innovation’ in historical perspective. *Cambridge Journal of Economics*, 19(1), 5-24. <https://doi.org/10.1093/OXFORDJOURNALS.CJE.A035309>
- German-Soto, V., Rubio, M. S., & Flores, L. G. (2021). Innovación y crecimiento económico regional: evidencia para México. *Problemas del Desarrollo Revista Latinoamericana de Economía*, 52(205). <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2021.205.69710>
- Griliches, Z. (1979). Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth. *The Bell Journal of Economics*, 10(1), 92. <https://doi.org/10.2307/3003321>
- Griliches, Z., & Mairesse, J. (1983). Comparing productivity growth: An exploration of French and U.S. industrial and firm data. *European Economic Review*, 21(1), 89-119. [https://doi.org/10.1016/S0014-2921\(83\)80009-9](https://doi.org/10.1016/S0014-2921(83)80009-9)

- Grossman, G. M., & Helpman, E. (1994). Endogenous Innovation in the Theory of Growth. *The Journal of Economic Perspectives*, 8(1), 23-44. <https://doi.org/10.1257/jep.8.1.23>
- Hannan, M. T., & Freeman, J. (1977). The population ecology of organizations. *American Journal of Sociology*, 82(5), 929-964. <https://doi.org/10.1086/226424>
- Hanushek, E. A., & Woessmann, L. (2008). The Role of Cognitive Skills in Economic Development. *Journal of Economic Literature*, 46(3), 607-668. <https://doi.org/10.1257/jel.46.3.607>
- Hayek, F. A. (1945). The Use of Knowledge in Society. *The American Economic Review*, 35(4), 519-530. <https://www.jstor.org/stable/20028282>
- Hodgson, G. M. (2004). *The evolution of institutional economics*.
- Johnson, B. (2010). Institutional learning. En B.-Å. Lundvall (Ed.), *National Systems of Innovation* (pp. 23-46). <https://doi.org/10.7135/upo9781843318903.003>
- Jones, C. I. (1995). R & D-Based Models of Economic Growth. *Journal of Political Economy*, 103, 759-784. <https://www.jstor.org/stable/2138581>
- Jones, C. I. (1997). On the Evolution of the World Income Distribution. *The Journal of Economic Perspectives*, 11(3), 19-36. <https://doi.org/10.1257/jep.11.3.19>
- Jones, C. I., & Williams, J. C. (2000). Too Much of a Good Thing? The Economics of Investment in R&D. *Journal of Economic Growth*, 5(1), 65-85. <https://doi.org/10.1023/a:1009826304308>
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, Fast and Slow*. Penguin Books.
- Kaufmann, D., & Kraay, A. (2024). The Worldwide Governance Indicators : Methodology and 2024 Update. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5154675>
- Khan, Z. U., Hussain, A., & Iqbal, N. (2017). Institutions and Innovation: Evidence from Countries at Different Stages of Development. *The Pakistan*

- Development Review*, 56(4), 297-317. <https://doi.org/10.30541/v56i4pp.297-317>
- La Porta, R., Lopez-De-Silanes, F., & Shleifer, A. (2007). The Economic Consequences of Legal Origins. *National Bureau of Economic Research*. <https://doi.org/10.3386/w13608>
- Lamarck, J. B. (1986). *Filosofía zoológica*. Alta Fulla.
- Lewis, O. A., & Steinmo, S. (2012). How Institutions Evolve: Evolutionary theory and Institutional change. *Polity*, 44(3), 314-339. <https://doi.org/10.1057/pol.2012.10>
- Lucas, R. E. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 22(1), 3-42. [https://doi.org/10.1016/0304-3932\(88\)90168-7](https://doi.org/10.1016/0304-3932(88)90168-7)
- Lundvall, B.-Å. (1988). Innovation as an Interactive Process: From User Producer Interaction to National systems of Innovation. En G. e. a. (Dosi (Ed.), *Technical Change and Economic theory*. Pinter Publishers.
- Lundvall, B.-Å. (2010). *National Systems of Innovation*. Anthem Press.
- Lundvall, B.-Å., Johnson, B., Andersen, E. S., & Dalum, B. (2002). National systems of production, innovation and competence building. *Research Policy*, 31(2), 213-231. [https://doi.org/10.1016/s0048-7333\(01\)00137-8](https://doi.org/10.1016/s0048-7333(01)00137-8)
- Malerba, F., & Orsenigo, L. (1995). Schumpeterian patterns of innovation. *Cambridge Journal of Economics*. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.cje.a035308>
- Malerba, F., & Orsenigo, L. (1996). Schumpeterian patterns of innovation are technology-specific. *Research Policy*, 25(3), 451-478. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(95\)00840-3](https://doi.org/10.1016/0048-7333(95)00840-3)
- Mankiw, N. G., Romer, D., & Weil, D. N. (1992). A contribution to the empirics of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 107(2), 407-437. <https://doi.org/10.2307/2118477>
- Martín, M.-Á. G., Ribeiro, D., & Picazo, M. T. M. (2012). Innovation and Economic Growth: Factors that Encourages Innovation. *Cuadernos de Gestión*, 12(Especial - Innovación), 51-58. <https://doi.org/10.5295/cdg.110309mg>

- Ménard, C., & Shirley, M. M. (2014). The future of new institutional economics: from early intuitions to a new paradigm? *Journal of Institutional Economics*, 10(4), 541-565. <https://doi.org/10.1017/s174413741400006x>
- Mesa, A. F., & Gayo, I. G. (1999). De los modelos de innovación a los regímenes tecnológicos Schumpeterianos. *Documentos de Trabajo del Instituto de Análisis Industrial y Financiero*, 15. <https://www.semanticscholar.org/paper/De-los-modelos-de-innovaci%C3%B3n-a-los-reg%C3%ADmenes-Mesa-Gayo/ea4f59057f65b0aa679c6772d1aba8fb45fb00a4>
- Metcalfe, J. S. (1995). The Economic Foundations of Technology Policy. En P. Stoneman (Ed.), *Handbook of the Economics of Innovation and Technical Change* (pp. 409-512). Backwell, Oxford.
- Milgrom, P. R., & Roberts, J. (1992). *Economics, Organization and Management*. Prentice Hall.
- Mokyr, J. (1990). The lever of riches: technological creativity and economic progress. *Choice Reviews Online*, 28(02), 28-1056. <https://doi.org/10.5860/choice.28-1056>
- Mutschler, W. (2022, agosto). RBC model: steady-state derivations and implementation in Dynare (with preprocessing tips) — Willi Mutschler. https://mutschler.eu/dynare/intro-dsge-dynare/rbc_video_steady/
- National Science Foundation. (2024). Science and Engineering Indicators. <https://ncses.nsf.gov/indicators>
- Nelson, R. R. (1994). The co-evolution of technology, industrial structure, and supporting institutions. *Industrial and Corporate Change*, 3(1), 47-63. <https://doi.org/10.1093/icc/3.1.47>
- Nelson, R. R. (2020). A perspective on the evolution of evolutionary economics. *Industrial and Corporate Change*, 29(5), 1101-1118. <https://doi.org/10.1093/icc/dtaa045>
- Nelson, R. R., & Nelson, K. (2002). Technology, institutions, and innovation systems. *Research Policy*, 31(2), 265-272. [https://doi.org/10.1016/s0048-7333\(01\)00140-8](https://doi.org/10.1016/s0048-7333(01)00140-8)
- Nelson, R. R., & Winter, S. G. (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Belknap Press.

- Nordhaus, W. D. (1969). *Invention Growth, and Welfare*. MIT Press (MA).
- North, D. C. (1990). *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*. Cambridge.
- Oluwatobi, S., Efobi, U., Olurinola, O., & Alege, P. O. (2014). Innovation in Africa: Why Institutions Matter. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2460959>
- Pavitt, K., & Patel, P. (1988). The International Distribution and Determinants of Technological Activities. *Oxford Review of Economic Policy*, 4(4), 35-55. <https://doi.org/10.1093/oxrep/4.4.35>
- Polanyi, M. (1998). *Personal knowledge*. Psychology Press.
- Rodríguez-Pose, A., & Zhang, M. (2020). The cost of weak institutions for innovation in China. *Technological Forecasting and Social Change*, 153, 119937. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.119937>
- Rodrik, D. (2000). Institutions for high-quality growth: What they are and how to acquire them. *Studies in Comparative International Development*, 35(3), 3-31. <https://doi.org/10.1007/bf02699764>
- Rodrik, D. (2004). Institutions and Economic Performance - Getting Institutions Right. *CESifo DICE Report*, 02(2), 10-15. <https://hdl.handle.net/10419/166802>
- Romer, P. M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 98(5, Part 2), S71-S102. <https://doi.org/10.1086/261725>
- Rosenberg, N. (1983). *Inside the black box* (C. U. Press, Ed.).
- Rosenstein-Rodan, P. N. (1943). Problems of Industrialisation of Eastern and South-Eastern Europe. *The Economic Journal*, 53(210/211), 202. <https://doi.org/10.2307/2226317>
- Sala-i-Martin, X. (2000). *Apuntes de crecimiento económico*. Antoni Bosch editor.
- Scherer, F., & Ross, D. (1990). *Industrial Market Structure and Economic Performance*. Houghton Mifflin.
- Schmookler, J. (1954). Invention, Innovation, and Competition. *Southern Economic Journal*, 20(4), 380. <https://doi.org/10.2307/1053869>

- Schmookler, J. (1966). *Invention and Economic Growth*. Harvard University Press.
- Schumpeter, J. A. (1934). *The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle* (3.^a ed.). Cambridge, Mass., Harvard University Press.
- Schumpeter, J. A. (1947). The Creative Response in Economic History. *The Journal of Economic History*, 7(2), 149-159. <https://doi.org/10.1017/s0022050700054279>
- Schumpeter, J. A. (1950). *Capitalism, Socialism, and Democracy*. Harper Collins.
- Simon, H. A. (1955). A behavioral model of rational choice. *The Quarterly Journal of Economics*, 69(1), 99-118. <https://doi.org/10.2307/1884852>
- Simon, H. A. (1991). Bounded rationality and organizational learning. *Organization Science*, 2(1), 125-134. <https://doi.org/10.1287/orsc.2.1.125>
- Simon, H. A. (1999). The many shapes of knowledge. *Revue d'économie industrielle*, 88(1), 23-39. <https://doi.org/10.3406/rei.1999.1743>
- Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65. <https://doi.org/10.2307/1884513>
- Stock, J. H., & Watson, M. W. (2008). Heteroskedasticity-Robust Standard Errors for Fixed Effects Panel Data Regression. *Econometrica*, 76(1), 155-174. <https://doi.org/10.1111/j.0012-9682.2008.00821.x>
- Tebaldi, E., & Elmslie, B. (2006). Institutions, Innovation and Economic growth. *Journal of Economic Development*, 33(2), 27-53. <https://doi.org/10.35866/caujed.2008.33.2.002>
- Tebaldi, E., & Elmslie, B. (2008). Do institutions impact innovation. *Munich Personal RePEc Archive*, (8757). <https://www.semanticscholar.org/paper/Do-Institutions-Impact-Innovation-Tebaldi-Elmslie>
- Tebaldi, E., & Elmslie, B. (2011). Does institutional quality impact innovation? Evidence from cross-country patent grant data. *Applied Economics*, 45(7), 887-900. <https://doi.org/10.1080/00036846.2011.613777>

- UNESCO Institute for Statistics. (2024). UIS.Stat Bulk Data Download Service.
apiportal.uis.unesco.org/bdds
- United Nations. (2024). Population Division. World Population Prospects. <https://population.un.org/wpp/>
- Voigt, S. (2017). How to measure informal institutions. *Journal of Institutional Economics*, 14(1), 1-22. <https://doi.org/10.1017/s1744137417000248>
- Winter, S. G. (1984). Schumpeterian competition in alternative technological regimes. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 5(3-4), 287-320. [https://doi.org/10.1016/0167-2681\(84\)90004-0](https://doi.org/10.1016/0167-2681(84)90004-0)
- Winter, S. G. (2004). Patents and Welfare in an Evolutionary Model. En G. Dosi, D. J. Teece & J. Chytry (Eds.), *Oxford University Press eBooks* (pp. 361-380). Oxford. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199269426.003.0012>
- Wooldridge, J. M. (2006). *Introducción a la econometría. Un enfoque moderno.* Ediciones Paraninfo, S.A.
- World Bank. (2024a). GDP (constant 2015 US\$). <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD>
- World Bank. (2024b). World Integrated Trade Solution. <https://wits.worldbank.org/datadownload.aspx?lang=es>
- World Bank. (2024c). Worldwide Governance Indicators (WGI). <https://govindicators.org>
- World Intellectual Property Organization. (2024). Statistics on Worldwide Patent Activity. <https://data.worldbank.org/indicator/IP.PAT.RESD>
- Yamawaki, H. (1985). Dominant firm pricing and fringe expansion: The case of the U.S. iron and steel industry, 1907-1930. *The Review of Economics and Statistics*, 67(3), 429. <https://doi.org/10.2307/1925971>

ANEXOS

A. Anexo Sección Microeconómica

A.1. Matriz de transición básica

En esta sección, se presenta la matriz de transición que describe la evolución de las firmas propuesto en la sección 2.2. La matriz establece dos posibles estados para cada firma: “viva” y “muerta”.

La probabilidad de que una firma sobreviva (es decir, que permanezca en estado “viva” antes de comenzar el nuevo ciclo) depende de dos factores principales. En primer lugar, la probabilidad de que alcance la máxima productividad al inicio del ciclo, lo cual puede ocurrir si se infecta y su shock es positivo y superior al del resto de las firmas infectadas, o si no se infecta y todos los shocks de las firmas infectadas resultan negativos. En segundo lugar, si la firma no alcanza inicialmente la máxima productividad, su supervivencia dependerá de la probabilidad de imitar exitosamente antes de que finalice el ciclo.

Mientras que la probabilidad de extinción corresponde al complemento de la probabilidad de supervivencia, es decir, la diferencia entre uno y la probabilidad de sobrevivir.

De este modo, la probabilidad de supervivencia puede expresarse como:

$$Pr(\text{Viva}_t | \text{Viva}_{t-1}) = \frac{1}{n_t} + \left(1 - \frac{1}{n_t}\right) \cdot (1 - (1 - P[d_{int} = 1])^{s-1})$$

donde la probabilidad de que una firma tenga la mejor tecnología dado que se infectó es:

$$Pr(\text{Max prod.} | d_{int} = 1) = \underbrace{\frac{1}{n_t \cdot Pr[d_{int} = 1]}}_{\text{Infectarse y alcanzar el máximo}} \cdot \underbrace{(1 - n_t (1 - Pr[d_{int} = 1]))}_{\text{Número probable de firmas que no se han infectado}} \underbrace{0,5^{n_t \cdot Pr[d_{int} = 1]}}_{\text{Probabilidad de que todos los shocks sean negativos}}$$

la probabilidad de que una firma tenga la mejor tecnología dado que no se infectó es:

$$Pr(\text{Max prod.} | d_{int} = 0) = 0,5^{n_t \cdot Pr[d_{int} = 1]}$$

De esta forma, la probabilidad de tener la tecnología máxima, utilizando la ley de la probabilidad total, queda expresada como:

$$Pr(\text{Max prod}) = \frac{1}{n_t}$$

Mientras que la probabilidad de imitar exitosamente en alguno de los s períodos restantes del ciclo se describe como:

$$P[d_{imt}^{s-1} = 1] = (1 - (1 - P[d_{imt} = 1])^{s-1})$$

Por otro lado, la probabilidad de pasar de “muerta” a “viva” es nula:

$$Pr(\text{Viva}_t | \text{Muerta}_{t-1}) = 0$$

Finalmente, la cantidad de firmas esperadas para el siguiente ciclo queda determinado por:

$$E[n_{t+1}] = Pr(\text{Viva}_t | \text{Viva}_{t-1}) \cdot n_t$$

Las matrices de transición para las configuraciones A y B en el primer ciclo, es decir, con $n_{t=1} = 30$, se presentan en las Tablas 11 y 12, respectivamente. La primera fila y la primera columna indican la probabilidad de que una firma, estando viva en el primer ciclo, continúe viva al inicio del segundo ciclo de infección para cada configuración. Por otro lado, la primera fila y la segunda columna muestran la probabilidad de que una firma, estando viva en el primer ciclo, muera antes de comenzar el segundo ciclo de infección. De manera análoga, la segunda fila se interpreta considerando que el estado inicial de la firma es “muerta”.

Estado	Viva	Muerta
Viva	0,94	0,06
Muerta	0,00	1,00

Tabla 11: Matriz de transición de las firmas. Configuración A

Fuente: Elaboración propia.

La configuración A presentó una mayor probabilidad de imitación y ciclos más largos en comparación con la configuración B, como se indicó anteriormente. Si se observa la primera entrada de las matrices correspondientes, se evidencia que, en la configuración A, la probabilidad de sobrevivir en el primer ciclo fue mayor que en la configuración B. Este resultado es coherente con lo observado previamente en la gráfica 4.

Estado	Viva	Muerta
Viva	0,79	0,21
Muerta	0,00	1,00

Tabla 12: Matriz de transición de las firmas. Configuración B

Fuente: Elaboración propia.

A.2. Derivación Markup

La formulación del *markup* de la firma en Winter (1984) sigue el mismo enfoque propuesto por Yamawaki (1985). En este marco, se asume que la empresa dominante enfrenta un conjunto de firmas en la franja competitiva (fringe), lo que equivale a un modelo de demanda derivada.

Para formalizar este comportamiento, se parte de la condición de equilibrio en el mercado:

$$Q_t = Q_t^f + q_{it}$$

donde $Q^f = \sum_{j \neq i} q_j$ representa la producción agregada de las firmas de la franja. Dado que se trabaja con una formulación generalizada, se omite el subíndice temporal.

Diferenciando con respecto al precio p y reorganizando términos:

$$\frac{dQ}{dp} = \frac{dQ^f}{dp} + \frac{dq_i}{dp}$$

Lo que lleva a la relación entre elasticidades:

$$\eta q_i = \eta^s(Q - q_i) + \eta^d Q$$

$$\eta s_i = \eta^s(1 - s_i) + \eta^d$$

Bajo el supuesto de comportamiento óptimo de las firmas, donde $f(p)$ es la función de demanda del mercado y $g(p)$ la función de oferta de las firmas de la franja, cada empresa enfrenta el siguiente problema de maximización de beneficios:

$$\max_p \pi_i = [f(p) - g(p)] p - c(q_i(p))$$

La condición de primer orden se expresa como:

$$[f'(p) - g'(p)] p + q_i - c'(q_i)q'_i(p) = 0$$

Reordenando y reemplazando por elasticidades, se obtiene la expresión para el *markup*:

$$\frac{p}{c'(q_i)} = \frac{\eta^d + \eta^s(1 - s_i)}{\eta^d + \eta^s(1 - s_i) - s_i}$$

Para el caso alternativo en el que el *markup* se define como $\frac{p-c}{p}$, se recurre directamente a la condición de Lerner.

A.3. Parámetros Modelo Winter

Parámetro	Valor	Descripción	Ref.
K_{i0}	139,58	Capital Inicial Firma i	W83
A_{i0}	0,16	Tecnología Inicial Firma i	W83
X_{i0}	0,001	Política de Imitación Inicial Firma i	W83
r_{in0}	0,002	Política de Innovación Inicial Firma i	W83
r_{im0}	0,005	Política de Imitación Inicial Firma i	W83
K_{\min}	10	Capital Mínimo	W83
X_{\min}	-0,051	Desempeño Mínimo	CyB22
η^d	1	Elasticidad de la demanda	NyW82
η^s	1	Elasticidad de la oferta	NyW82
D	64	Factor de escala de la demanda	W83
P_{\max}	1,20	Precio Máximo demanda	W83
c	0,16	Costo Marginal	W83
θ	0,75	Persistencia de Desempeño	W83
a_n	0,025 (0,25)	Efectividad de Innovación	W83
a_m	2,5	Efectividad de Imitación	W83
γ	0,01	Crecimiento periódico de la productividad	NyW82
δ	0,03	Depreciación Capital Físico	W83
b	1	Multiplicador de financiamiento del banco	W83
β	0,167	Velocidad de adaptación política I+D	W83
Δ	0,001	Mejora desempeño al adaptar nueva política.	CyB22

Parámetro	Valor	Descripción	Ref.
E_n	2 (0,2)	Gasto/Esfuerzo Externo en Innovación.	W83
E_m	0,2	Gasto/Esfuerzo Externo en Imitación.	W83
r_e	0,007	Costo de oportunidad de la empresa entrante.	W83
μ	0,135 (0,02354)	Productividad Media	W83
σ	0,1177 (0,02354)	Desv. Estándar productividad	W83
σ_n	0,002	Desv. estándar de I+D innovativa	W83
σ_m	0,0004	Desv. estándar de I+D imitativa	W83
σ_e	0,014	Desv. Estándar Co. Op. de firmas entrantes	W83
K^*	25	Media del capital de firmas entrantes	W83
σ_K	7,5	Desv. Estándar capital de firmas entrantes	W83

Tabla 13: Modelo Winter (2004) parámetros

Entre paréntesis se indica el valor del parámetro para el régimen rutinizado, en caso de haber cambiado. NyW82: Nelson y Winter (1982), W83: Winter (1984), CyB22: Clementino y Barrenechea (2022).

Fuente: Elaboración propia.

A.4. Simulaciones $n = 3$

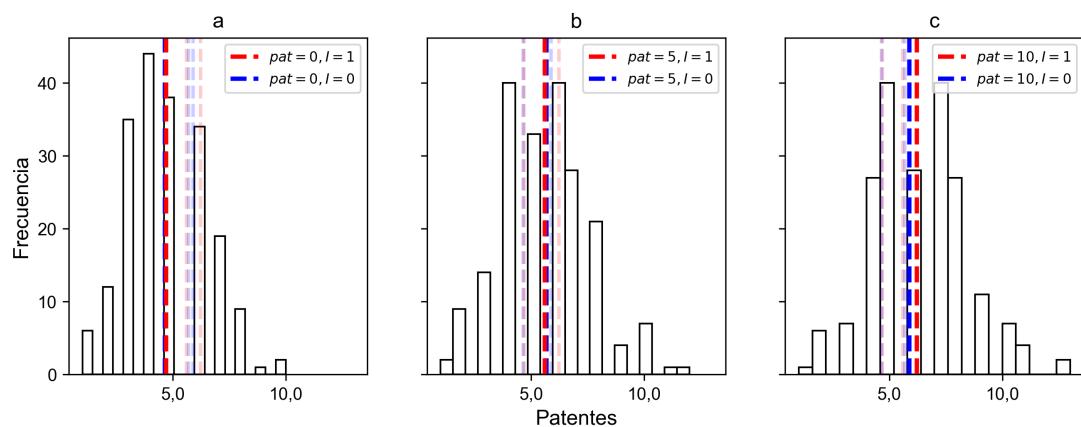


Figura 14: Distribución patentes $n = 3$, RE.

a. Tiempo patentes = 0, b. Tiempo patentes = 5, c. Tiempo patentes = 10. Fuente: Elaboración propia.

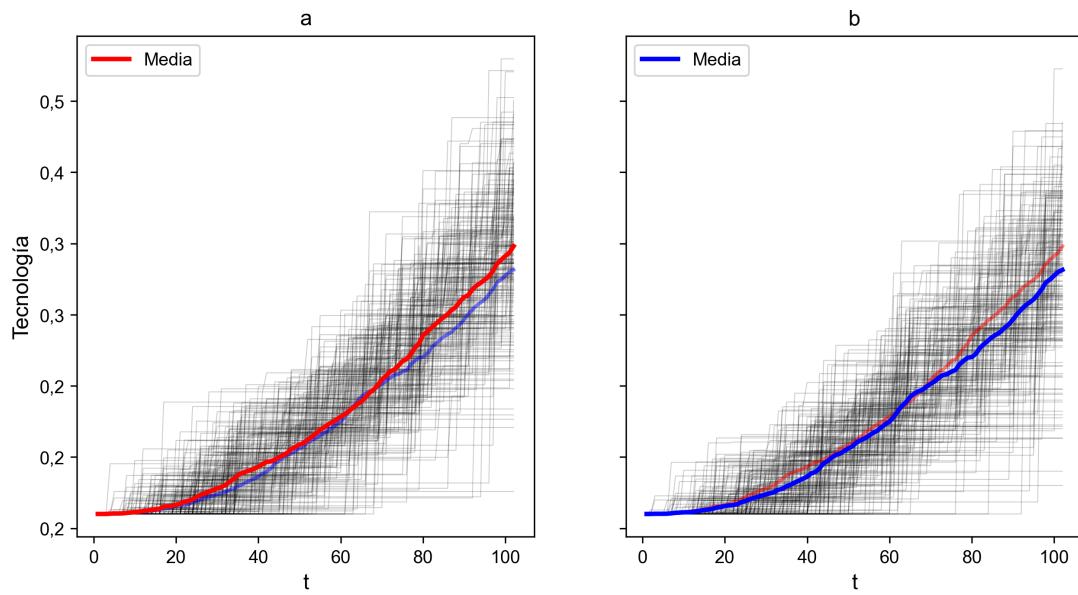


Figura 15: Máxima tecnología $n = 3$, RE.

a. Tiempo patentes = 0, b. Tiempo patentes = 5, c. Tiempo patentes = 10. Fuente: Elaboración propia.

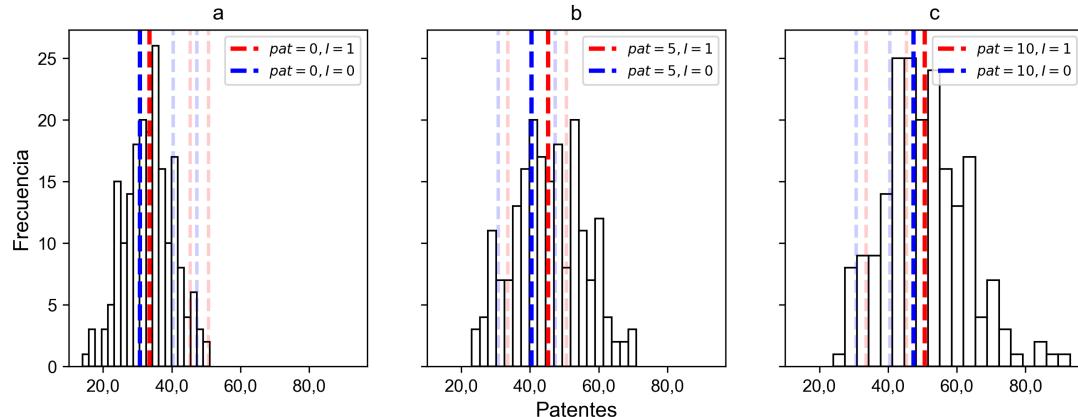


Figura 16: Distribución patentes $n = 3$, RR.

a. Tiempo patentes = 0, b. Tiempo patentes = 5, c. Tiempo patentes = 10. Fuente: Elaboración propia.

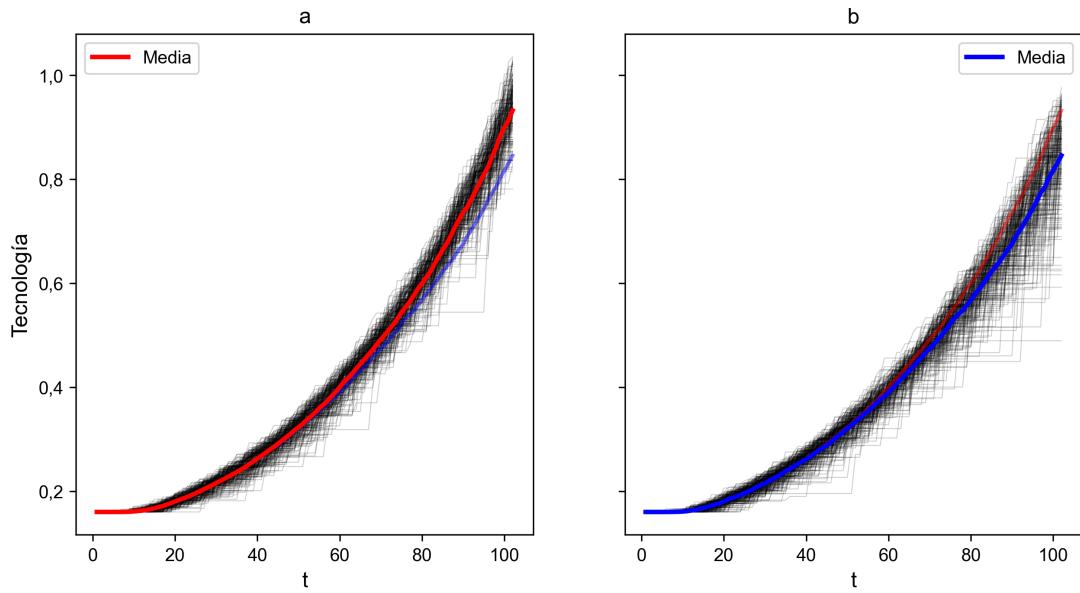


Figura 17: Máxima tecnología $n = 3$, RR.

a. Tiempo patentes = 0, b. Tiempo patentes = 5, c. Tiempo patentes = 10. Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron los mismos tests que en las simulaciones con $n = 5$. En todos los casos, los tests estadísticos para $n = 3$ fueron menos significativos. Sin embargo, los resultados obtenidos siguen siendo consistentes con las hipótesis. En particular, en el caso empresarial, las diferencias no son tan marcadas, en parte debido a la menor cantidad de firmas dedicadas a innovar, lo que contrasta con lo esperado bajo este régimen. Por razones de espacio, los resultados de los tests para $n = 3$ no se presentan en este trabajo, aunque están disponibles para su consulta.

A.5. Comparación

Con el objetivo de resaltar las diferencias y la superioridad del enfoque evolucionista, esta sección presenta el modelo neoclásico como un caso de referencia. Específicamente, se buscó destacar tres elementos clave que dotan a los modelos evolutivos de mayor poder explicativo: la dependencia de la trayectoria (inercia), el no equilibrio y la heterogeneidad de las firmas y la industria.

De esta forma, este apéndice desarrolla el caso “típico” neoclásico, donde las

decisiones de las firmas son deterministas, todas las empresas son idénticas y la innovación es el resultado de una asignación óptima de recursos, sin incertidumbre ni variabilidad en las trayectorias tecnológicas.

A partir de esta formulación, se contrastaron los resultados con el modelo evolucionista, evidenciando las limitaciones del marco neoclásico para capturar la dinámica real de los procesos de innovación y cambio tecnológico.

A.5.1. Modelo Neoclásico

Para mantener la comparación con el modelo evolucionista de Winter, se supuso que la función de producción, la función inversa de la demanda, la función de beneficios y la estrategia de inversión en capital físico siguen la misma forma que en dicho modelo. La única diferencia radicó en el proceso de innovación: en lugar de un mecanismo aleatorio, existe una función de generación de conocimiento, y las firmas asignan recursos de manera óptima a I+D.

Dado que todas las firmas son idénticas y operan en equilibrio, el sistema puede representarse mediante una única firma representativa, eliminando el subíndice i .

Las firmas destinan recursos a innovación o imitación. En equilibrio, dado que todas enfrentan los mismos incentivos y la imitación solo es posible si al menos una firma innova, se puede asumir que todas las firmas se dedican a innovar. La tecnología está determinada por la cantidad total de recursos destinados a I+D, presentando rendimientos decrecientes a escala. Se supone que la evolución de la tecnología sigue la siguiente relación funcional:

$$A_{t+1} = \beta A_t + (1 - \beta)(r_{nt} K_t)^\alpha$$

donde $r_{nt} K_t$, al igual que el modelo de Winter, representa la cantidad de recursos totales destinados a innovación.

De esta forma, el problema de la firma consiste en elegir r_{nt} para maximizar sus beneficios:

$$\max_{\{r_{nj}\}_{j=0}^T} \pi_{t+1} = P_{t+1} [\beta A_t + (1 - \beta)(r_{nt} K_t)^\alpha] - c - r_{nt+1}$$

Suponiendo que la firma no aplica descuento intertemporal, la condición de primer orden para la maximización del beneficio es:

$$\alpha(1 - \beta)P_{t+1}K_t^\alpha r_{nt}^{\alpha-1} = 1$$

Resolviendo para r_{nt} :

$$r_{nt} = [\alpha(1 - \beta)P_{t+1}K_t^\alpha]^{\frac{1}{1-\alpha}}$$

Si bien sería posible continuar con el desarrollo analítico para obtener soluciones cerradas, dado que el objetivo de este trabajo no fue profundizar en el modelo neoclásico, sino contrastar sus resultados con el enfoque evolucionista, se procedió directamente a la simulación de las trayectorias tecnológicas en ambos casos. Para ello, se utilizaron los mismos parámetros utilizados en las simulaciones principales, cuando corresponda.

A.5.2. Resultados

Para garantizar una comparación adecuada con el modelo de Winter, se eliminó la posibilidad de entrada de nuevas firmas a la industria y se descartó la existencia de patentes, asegurando así que la difusión del conocimiento no esté restringida por barreras legales. En ambos casos, la salida del mercado ocurrió cuando el capital cae por debajo de su mínimo requerido. No obstante, en el enfoque evolutivo, además de esta condición, se incorporó el criterio de desempeño que evalúa si las rutinas institucionalizadas son adecuadas.

Asimismo, se estableció que el stock inicial de capital, el nivel inicial de tecnología y la asignación inicial de recursos a I+D sean idénticos en ambos modelos. De este modo, en $t = 0$, ambos partieron de la misma situación, permitiendo que las diferencias observadas en las dinámicas de innovación sean atribuibles exclusivamente a los mecanismos subyacentes de generación de conocimiento en cada enfoque.

Todas las gráficas presentan el caso neoclásico en el lado izquierdo y el caso evolucionista en el lado derecho.

La Figura 18 muestra la trayectoria tecnológica de una firma que compitió en un mercado junto con otras dos firmas, todas dedicadas a la innovación.

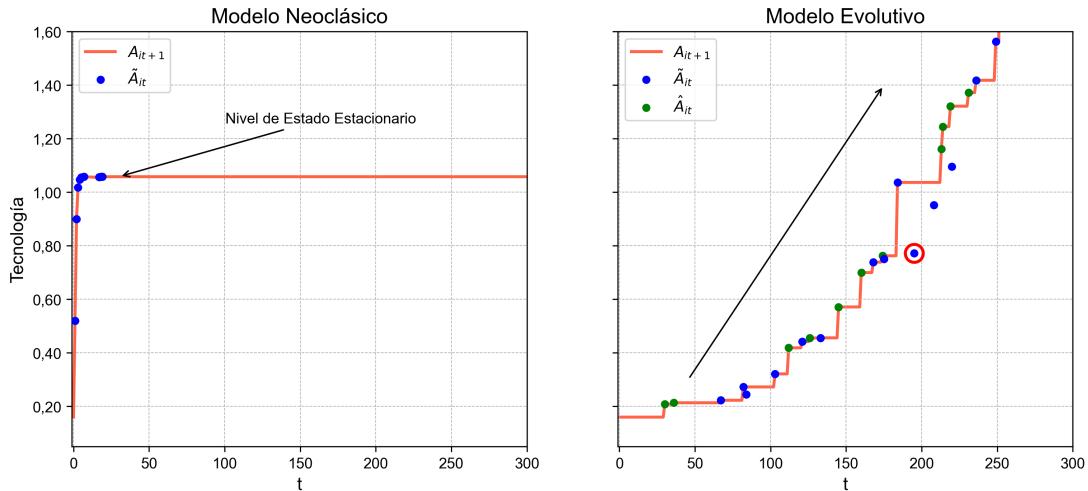


Figura 18: Persistencia y selección en la dinámica de innovación.

Los puntos azules indican las innovaciones de la firma 1, mientras que los puntos verdes representan los casos en los que la firma innovó mediante la imitación de otras firmas de la industria. Fuente: Elaboración propia.

En el enfoque neoclásico, la firma enfrentó exclusivamente decisiones de innovación, ya que la imitación conlleva el mismo costo y genera los mismos resultados, excepto cuando ninguna otra firma innova. Por lo tanto, la estrategia óptima fue asignar todos los recursos a la innovación, como indicamos anteriormente. Cada vez que innovó, incorporó el nuevo conocimiento y ajustó su trayectoria tecnológica hasta alcanzar un nivel de conocimiento óptimo, correspondiente al nivel de estado estacionario. Una vez en este punto, la firma dejó de innovar activamente.

En contraste, en el caso evolucionista, la firma podía mejorar su tecnología a través de la innovación propia y la adopción de conocimientos desarrollados por otras firmas, ambos resultado de su inversión en I+D. Este proceso introdujo una dinámica de selección y competencia por la innovación distinta a la del caso neoclásico. En particular, como se observa en el círculo rojo de la gráfica derecha, no todas las oportunidades tecnológicas condujeron a innovaciones exitosas para la firma. Es por ello que el punto azul se encuentra por debajo de la trayectoria tecnológica.

Además, en el caso neoclásico la trayectoria previa de la firma no influyó en su evolución tecnológica, en otras palabras, no existió inercia. De esta forma, el nivel de conocimiento simplemente “saltó” hasta alcanzar su valor óptimo. Por

otro lado, el caso evolutivo hubo una persistencia en el nivel de conocimiento de forma tal que la historia jugó un papel que limita las posibilidades futuras. Finalmente, a diferencia del modelo neoclásico, para el paradigma evolutivo no existe un nivel de conocimiento óptimo o un estado estacionario. Por lo tanto, las firmas compitieron de manera continua en la búsqueda de innovaciones, sin converger a un punto final predefinido.

La Figura 19 representa la misma situación que la gráfica anterior; sin embargo, en este caso se incluyó también las trayectorias del resto de las firmas en la industria. El objetivo de esta figura fue ilustrar la heterogeneidad en la evolución del conocimiento entre las distintas firmas.

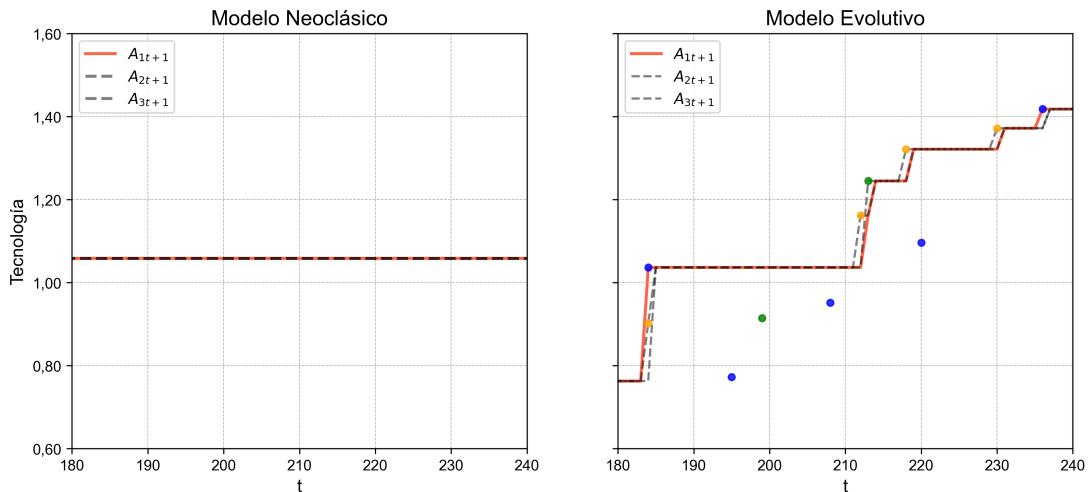


Figura 19: Heterogeneidad en la evolución del conocimiento.

Se restringió el intervalo temporal a [180, 240] con el objetivo de facilitar la visualización de las trayectorias en el modelo evolutivo. Los puntos azules representan las innovaciones de la firma 1, los verdes las de la firma 2 y los naranjas las de la firma 3. Fuente: Elaboración propia.

A la izquierda se presenta el modelo neoclásico, donde todas las firmas siguieron el comportamiento del agente representativo, lo que resultó en trayectorias tecnológicas idénticas. En contraste, a la derecha se observa que las trayectorias de las firmas en el modelo evolucionista no fueron homogéneas, sino que variaron según sus procesos de innovación e imitación. Mientras algunas firmas lograron avances tecnológicos con mayor frecuencia, otras atravesaron períodos de menor actividad innovadora. Esta heterogeneidad refleja

la dinámica competitiva del modelo evolucionista, en la que el acceso a nuevas tecnologías y la capacidad de adaptación determinan la evolución del conocimiento en la industria.

Finalmente, la última figura de esta sección, Figura 20, tuvo como objetivo mostrar que los resultados obtenidos en el modelo evolutivo no son deterministas.

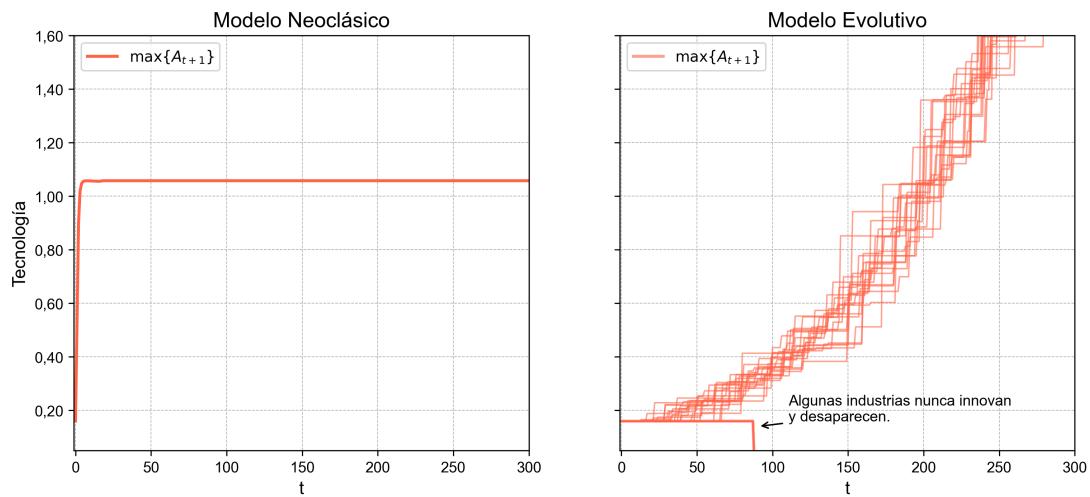


Figura 20: Trayectoria tecnológica estocástica.

Se toman 25 simulaciones para la representación de las gráficas. Fuente: Elaboración propia.

Para ello, se realizaron 25 simulaciones en el caso evolutivo y se tomó la máxima tecnología alcanzada en cada período. Se observa que los efectos estocásticos generaron resultados distintos, incluso bajo las mismas condiciones iniciales. En particular, en el caso evolutivo, fue posible que la industria desapareciera si ninguna firma logró innovar.

B. Anexo Sección Macroeconómica

B.1. Parámetros Modelo Tebaldi

Parámetro	Valor	Descripción	Ref.
α	0,32	Elasticidad de la producción respecto al capital	DyS13
$1 - \alpha$	0,68	Elasticidad de la producción respecto al trabajo	DyS13
ρ	0,05	Tasa de preferencia temporal	DyS13
γ	1	Importancia relativa del consumo	M22
θ	1,6	Importancia relativa del ocio	M22
η_C	2	Aversión al riesgo intertemporal	M22
η_L	1,5	Elasticidad de Frisch	M22
τ	0,5	Retardo adopción tecnología	**
$1 - \phi$	0,38	Productividad del conocimiento adquirido	DyS13
δ_A	0,4	Factor de escala del nivel de conocimiento	*
\bar{z}	0,2	Relación entre instituciones y tecnología	*
ρ_z	0,9	Coeficiente de autocorrelación variable z	**

Tabla 14: Modelo Tebaldi y Elmslie (2006) modificado, parámetros

DyS13: D'agostinoa y Scarlato (2013), M22: Mutschler (2022), *: Para garantizar estado estacionario, **: Modificaciones no alteran las hipótesis de las trayectorias obtenidas.

Fuente: Elaboración propia.

C. Anexo Sección Econométrica

C.1. Clasificación patentes EPO

Campo Tecnológico	Subcategoría	Régimen
Ing. eléctrica	Maquinaria eléctrica, aparatos, energía Tecnología audiovisual Telecomunicaciones Comunicación digital Procesos básicos de comunicación Tecnología informática Métodos de TI para la gestión Semiconductores	I NC II II II II II II
Instrumentos	Óptica Medición Análisis de materiales biológicos Control Tecnología médica	I I I I I
Química	Química fina orgánica Biotecnología Productos farmacéuticos Química macromolecular, polímeros Química de materiales básicos Materiales, metalurgia Tecnología de superficies, recubrimientos Microestructuras y nanotecnología Ingeniería química Tecnología ambiental	II II II II II I I II II NC

Campo tecnológico	Tec-	Subcategoría	Régimen
Ing. mecánica		Manipulación	I
		Herramientas mecánicas	I
		Motores, bombas, turbinas	II
		Máquinas textiles y de papel	I
		Otras máquinas especiales	I
		Procesos térmicos y aparatos	II
		Elementos mecánicos	I
		Transporte	II
Otros campos		Muebles, juegos	NC
		Otros bienes de consumo	NC
		Ingeniería civil	NC

Tabla 15: Clasificación de tecnologías según EPO y según régimen tecnológico

I: Régimen Schumpeter I, II: Régimen Schumpeter II, NC: No clasificado.

Fuente: Elaboración propia.

C.2. Estadística descriptiva

Variable	Obs.	Media	Desv. Est.	Mínimo	Máximo
Patentes	257	2.639,33	5.799,52	1,00	34.593,00
Art. Científicos	257	49.582,79	106.493,43	280,63	669.744,30
Cap. Humano	257	3.935,72	1.908,03	719,23	8.614,63
Part. Importaciones	257	1,64	2,15	0,00	11,56
CC	257	6,88	1,65	4,09	9,50
RQ	257	7,21	1,11	4,29	9,08
LR	257	7,10	1,39	4,16	9,25
ER	257	7,28	1,17	4,70	9,19
Inglés	4	2.445,59	3.969,06	142,81	8.383,00
Francés	14	377,56	687,25	1,00	2.395,90
Alemán	17	973,00	1.906,14	3,15	6.036,76
Escandinavo	4	454,17	358,46	117,43	960,00
Ing. Electrica	37	738,28	1502,14	1,00	7.119,29
Instrumentos	38	440,32	1060,27	1,00	5.575,43
Química	38	596,25	1.322,33	2,00	6.493,57
Ing. Mecánica	39	665,11	1.499,37	1,00	6.758,37
Otros Campos	39	195,45	377,77	1,00	1.900,86

Tabla 16: Resumen estadístico de las variables utilizadas en el análisis

CC: Control de Corrupción, RQ: Calidad Regulatoria, LR: Estado de Derecho, ER: Riesgo de Expropiación.

Los apartados de Origen Legal y Campo Tecnológico fueron calculados agrupando las observaciones por país.

Fuente: Elaboración propia.

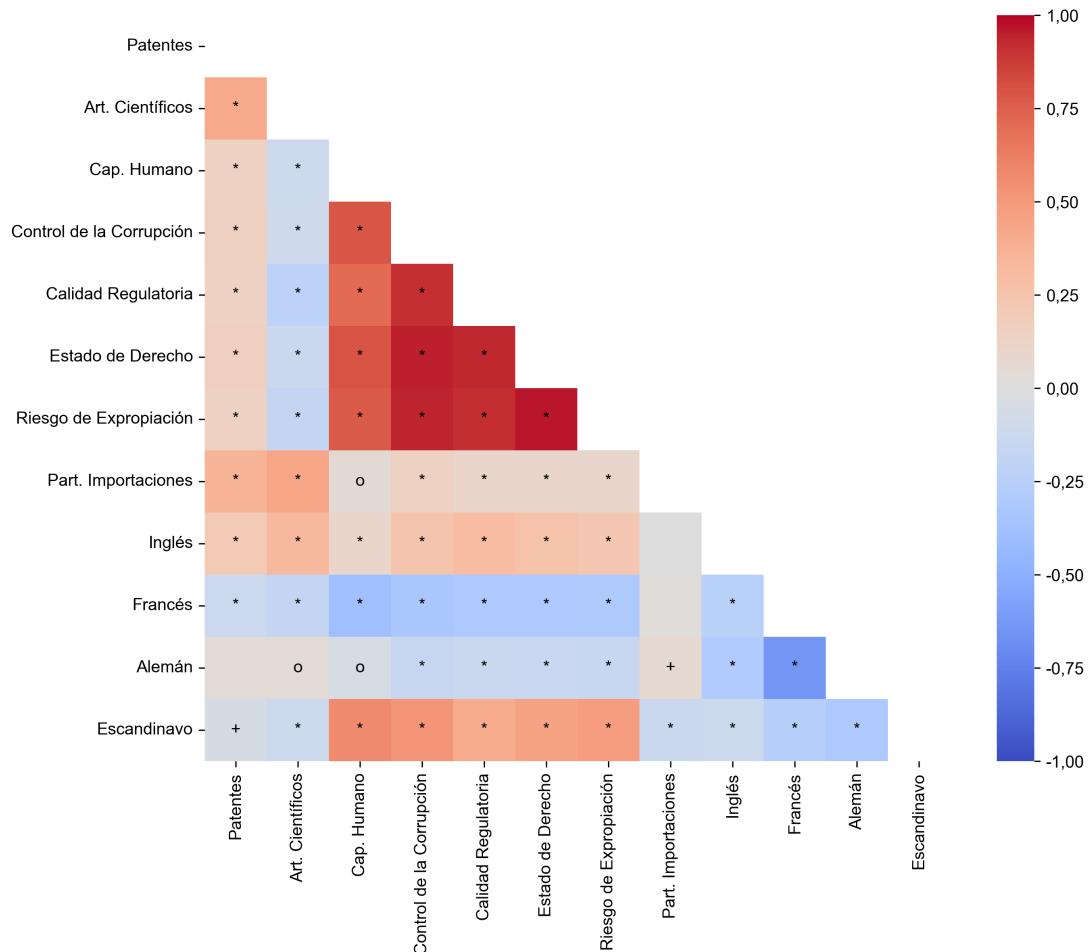


Figura 21: Matriz de correlación.

o: Significativo al 10 %, +: Significativo al 5 %, *: Significativo al 1 %

Fuente: Elaboración propia.

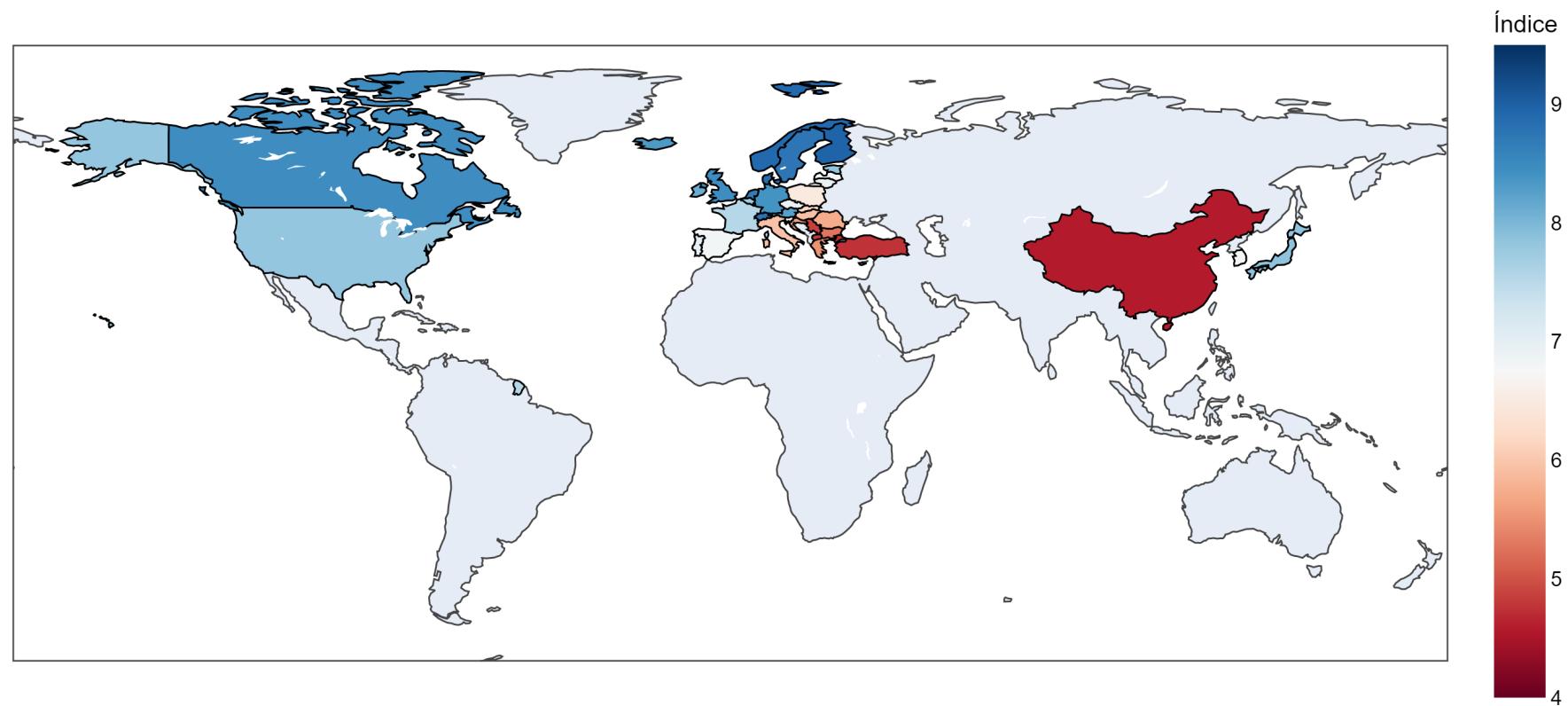


Figura 22: Distribución de la media de Calidad Institucional.

Fuente: Elaboración propia.

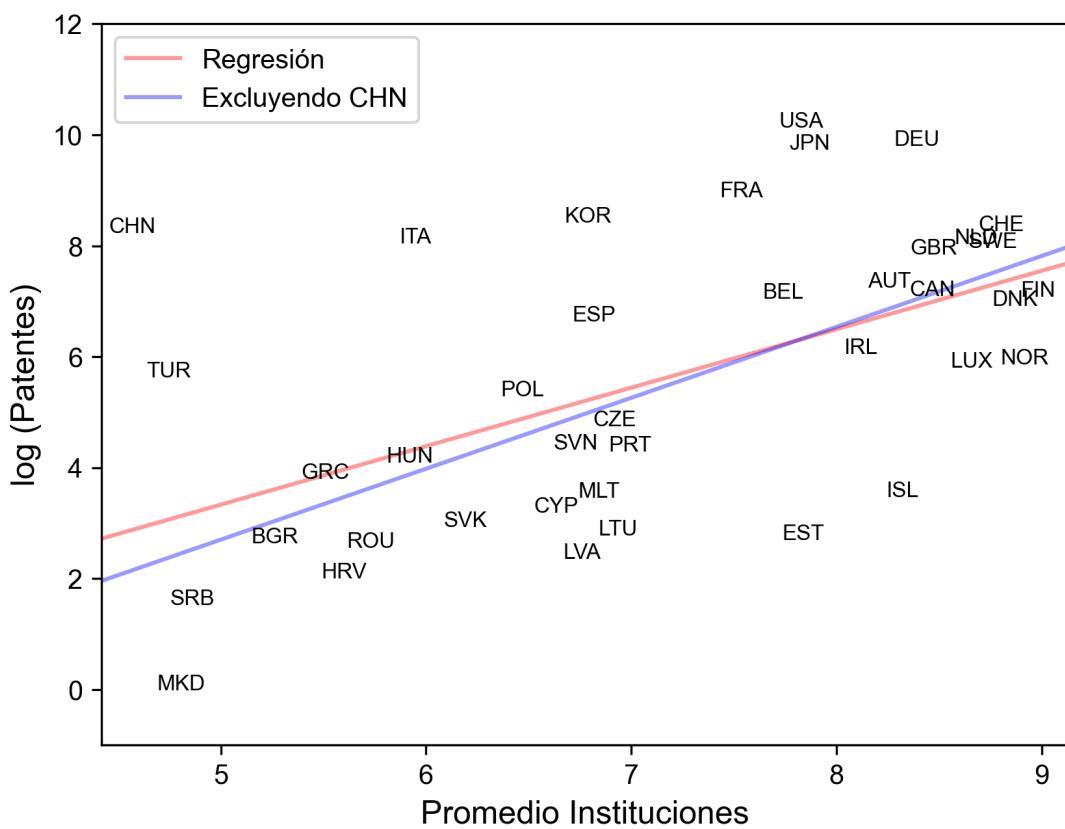


Figura 23: Relación entre la calidad institucional y la producción de patentes.

Fuente: Elaboración propia.

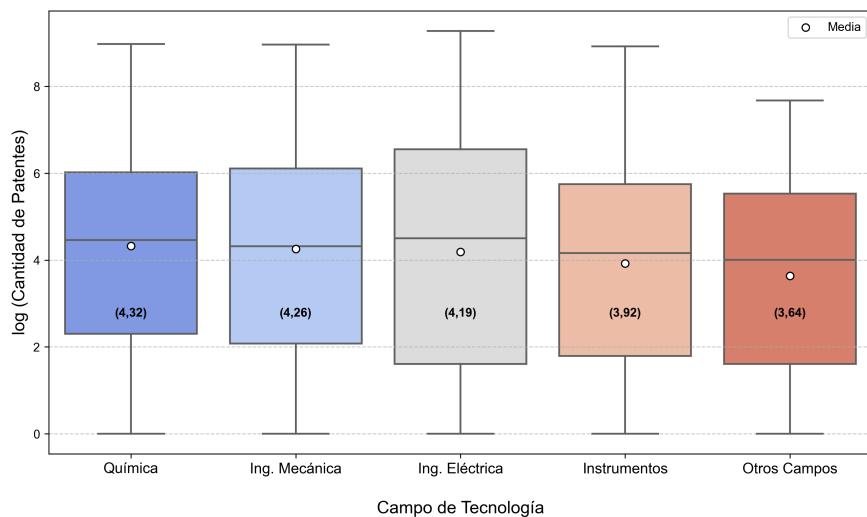


Figura 24: Box-Plot log (Patentes) según Campo Tecnológico.

Fuente: Elaboración propia.

C.3. QQ-Plots y Test normalidad residuos

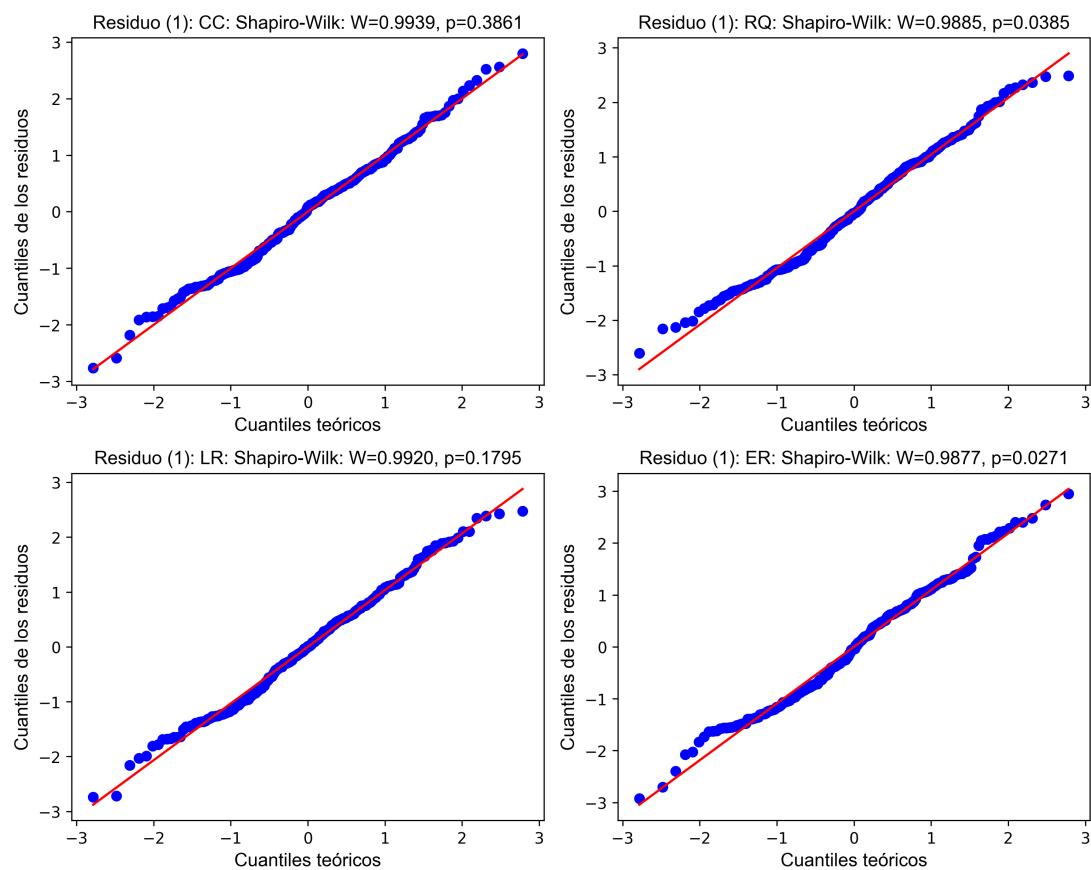


Figura 25: Q-Q Plot, Normalidad de los residuos especificación (1).

Fuente: Elaboración propia.

C.4. Instrumentos y Tests de validez

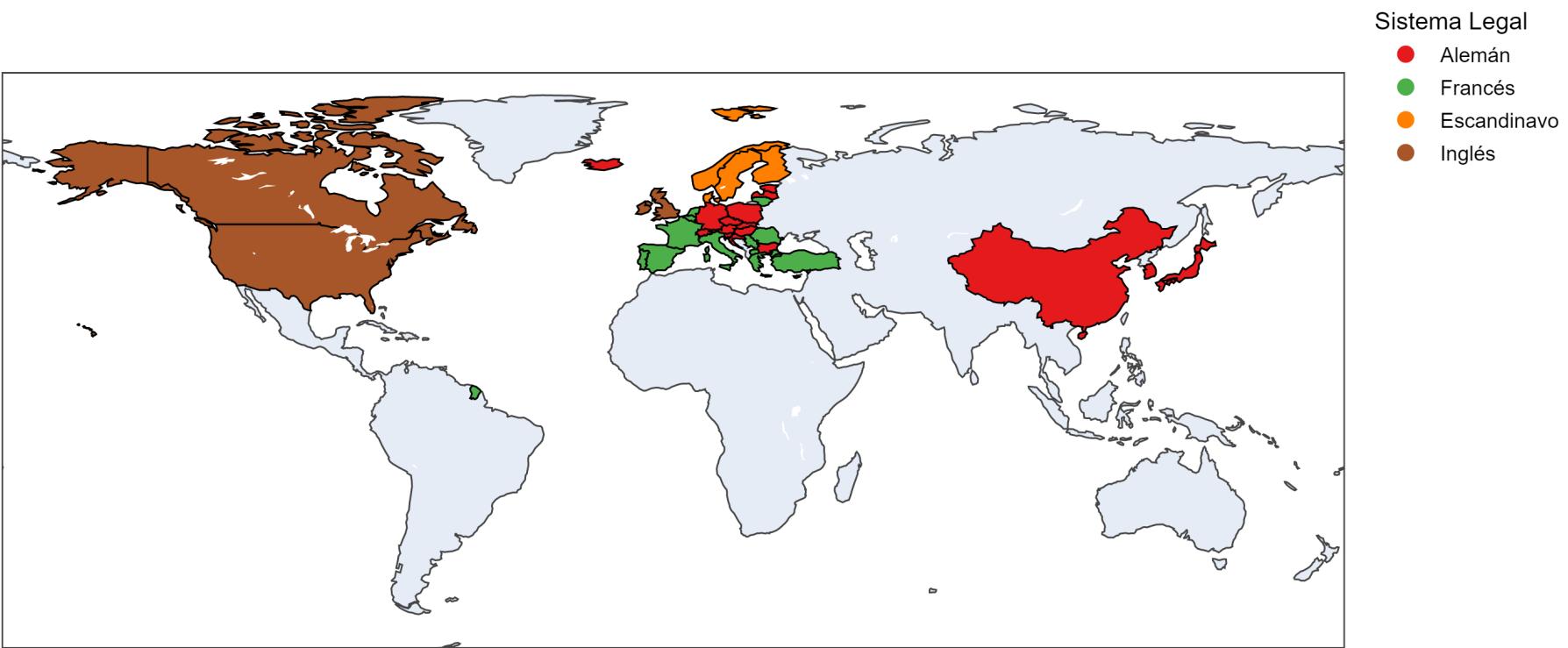


Figura 26: Distribución de Origen Legal.

Fuente: La Porta et al. (2007).

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	df	F	p-valor
C(Origen Legal)	153,4503	3,0	46,2228	0,000
Residual	279,9695	253,0	—	—

Tabla 17: Test ANOVA, Relevancia del instrumento.

Fuente: Elaboración propia.

Modelo	(IV): CC	(IV): RQ	(IV): LR	(IV): ER
Instrumento	Origen Legal			
Hansen-J-statistic	2,9839	1.9362	2.3116	2.0618
Hansen-J-pvalue	0.2249	0.3798	0.3148	0.3567

Tabla 18: Test Hansen-J, Exclusión del instrumento

CC: Control de Corrupción, RQ: Calidad Regulatoria, LR: Estado de Derecho, ER: Riesgo de Expropiación. Fuente: Elaboración propia.

C.5. Estimaciones alternativas y robustez instrumental

Variable	log (Número Patentes)							
Modelo	(2SLS): CC	(2SLS): RQ	(2SLS): LR	(2SLS): ER	(LIML): CC	(LIML): RQ	(LIML): LR	(LIML): ER
Intercepto	-15,593*	-15,127*	-16,827*	-15,783*	-15,701*	-15,193*	-16,855*	-15,799*
log (Art. Cient)	0,8900*	0,9030*	0,9134*	0,9091*	0,8879*	0,9016*	0,9114*	0,9086*
log (Cap. Humano)	1,3488*	1,1585*	1,3828*	1,1717*	1,3730*	1,1754*	1,3965*	1,1771*
Part. Importaciones	0,2058*	0,2054*	0,2008*	0,2037*	0,2074*	0,2062*	0,2020*	0,2040*
CC	0,2101+				0,1977+			
RQ		0,3388+				0,3303+		
LR			0,3036+				0,2945+	
ER				0,3986+				0,3953+
Adj. R-squared	0,8386	0,8407	0,8337	0,8287	0,8376	0,8403	0,8333	0,8287
F-statistic	1336,5*	1424,7*	1332,5*	1294,9*	1324,7*	1417,4*	1325,8*	1292,9*

Tabla 19: Resultados de regresión IV-Alternativos

◦: Significativo al 10 %, +: Significativo al 5 %, *: Significativo al 1 %

CC: Control de Corrupción, RQ: Calidad Regulatoria, LR: Estado de Derecho, ER: Riesgo de Expropiación. 2SLS: Mínimos Cuadrados en Dos Etapas, LIML: Máxima Verosimilitud Instrumental Limitada. Fuente: Elaboración propia.