

Innovación y caos determinista: un modelo predictivo para Europa

En este artículo se aborda el estudio de la innovación como producto resultante de conceptualizar la economía como un sistema caótico determinista, con arreglo a las características de aperiodicidad, predecibilidad y dependencia sensible a las condiciones iniciales. A partir de la serie 1990-2010 del Índice de Desarrollo Humano (IDH) del PNUD se ha modelizado el comportamiento del nivel de desarrollo de las economías de EU-27, en la hipótesis de que tal nivel posee capacidad explicativa sobre su posición innovadora en 2010, representada por el Índice de Innovación de la Unión (*Innovation Union Scoreboard-IUS*). De forma significativa se ha contrastado la posición innovadora del Reino Unido y Alemania como economías prototipo de modelos estilizados de innovación, como muestra de las posibilidades que ofrecen las leyes del caos determinista para reinterpretar estos fenómenos.

Artikulu honetan berrikuntzaren azterlanari ekiten diot ekonomia sistema kaotiko-determinista gisa kontzeptualizatzearen emaitza bailitzan. Sistema hori aldizkotasun-ezaren, iragarritasunaren eta hasierako baldintzenganako mendekotasun sentikorraren ezaugarrien arabera lantzen dut. NBGPren Giza Garapenaren Indizearen 1990-2010 seriea kontuan hartuta, 27-EBko ekonomien garapen mailaren portaeraren eredia hartu dut. Izan ere, pentsatu dut maila horrek 2010eko berrikuntzaren posizioa azaltzeko ahalmen nahikoa duela, posizio hori Batasuneko Berrikuntza Aurkibideak (Union Innovation Scoreboard-IUS) neurtzen duela. Modu nabarmenean, Erresuma Batuaren eta Alemaniaren posizio berritzailea egiaztatu dut, berrikuntzaren eredu onak baitira ekonomia eredu gisa, kaos deterministaren legeek fenomeno horiek berrinterpretatzeko eskaintzen dituzten aukeren adierazgarri.

This paper examines innovations as a product that results from the view that the economy is a deterministic chaotic system, in line with the characteristics of aperiodicity, predictability and dependence sensitive to initial conditions. The 1990-2010 dataset for the HDI (Human Development Index) published by the UNDP is used to model the behaviour of the level of development of the economies of EU-27, under the hypothesis that that level has the power to explain their position as regards innovation in 2010, represented by the Innovation Union Scoreboard (IUS). Significant comparisons are made between the positions on innovation of the UK and Germany as the prototype economies for stylised models of innovation, to show how the laws of deterministic chaos can be used to reinterpret these phenomena.

Índice

1. Introducción
2. Revisión sintética de los paradigmas explicativos de la innovación
3. La innovación como producto de un sistema dinámico caótico
4. Modelización determinista del nivel europeo de desarrollo para el sistema EU-27 entre 1990-2010
5. La innovación en Europa en el horizonte de 2030
6. Conclusiones

Referencias bibliográficas

Palabras clave: caos determinista, índice de desarrollo humano, indicador de innovación.

Keywords: deterministic chaos, human development index, innovation index.

Nº de clasificación JEL: O31, O15, I31.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de la innovación ha sido abordado desde múltiples perspectivas. A partir del hito que supuso la «destrucción creativa» schumpeteriana como paradigma explicativo, los estudiosos de la innovación han venido proponiendo distintas formulaciones que sirvieran como marco teórico para investigar lo que es un fenómeno siempre actual, y crecientemente complejo (Morse y Warner, 1966).

La innovación constituye hoy el elemento central de una economía moderna. Ya en muchos países, la inversión que lleva a cabo el sistema económico en los llamados activos intangibles basados en la innovación tales como I+D, *software*, bases de datos y otras formas de tecnologías de la información y comunicación avanzadas y de «saber hacer», es tan importante como la que se realiza en los activos materiales tradicionales: maquinaria, equipos y edificios, fundamentalmente (OCDE, 2010).

¹ El autor agradece las valiosas aportaciones efectuadas por los evaluadores anónimos en el proceso de revisión del artículo.

Para los fines de este artículo la innovación la entendemos en sentido amplio, de acuerdo con la definición del Manual de Oslo de la OCDE (2006) extendida al conjunto del sistema económico, como: «la introducción de un nuevo o significativamente producto mejorado (bien o servicio), de un proceso, de un nuevo método de comercialización o de un nuevo método organizativo, en las prácticas internas de la empresa, en la organización del lugar de trabajo o en las relaciones exteriores».

Por su parte, la Comisión Europea (2010) hace de la innovación uno de los pilares esenciales de la respuesta estratégica a la crisis económica. En efecto, el fortalecimiento de los sectores intensivos en tecnología y la ampliación de la base tecnológica de la industria, son las vías idóneas para ganar competitividad y eficiencia. Así, nos encontramos ante una importancia creciente del fenómeno innovador, cuyos desarrollos teóricos en el curso de los últimos treinta años han trascendido su reducto inicial vinculado a la competitividad empresarial (1980-1990), para pasar al de la competitividad del conjunto de la economía (1990-2000) y llegar hoy a la innovación sistémica o social. Las administraciones y organizaciones públicas parecen asumir como propios planteamientos estratégicos innovadores, tanto desde la perspectiva de su legitimación (ofrecer más y mejores servicios públicos) junto a los planteamientos tradicionales de eficacia y eficiencia en la asignación de recursos (Navarro, 2000; Ibarra, 2003).

La presente investigación aborda el estudio de la innovación como resultado o producto del sistema económico, conceptualizado éste como un sistema dinámico caótico. Tal perspectiva, pese a su todavía desarrollo insuficiente en la literatura económica, supone una forma novedosa de abordar el fenómeno innovador, comprenderlo y valorar sus efectos.

Por contraste, el estudio de los sistemas caóticos deterministas goza de gran tradición en las ciencias naturales, la ingeniería y las ciencias de la organización². Gracias a su conocimiento, fenómenos como la predicción climática y la mecánica de fluidos al borde de la turbulencia (flujo de Rayleigh-Bénard), algunas reacciones químicas o el deceso de ciertas poblaciones biológicas pueden ser modelizados y estudiados (Hrebiniak y Joyce, 1985). Lo que pretendemos hacer aquí es extender la teoría del caos determinista a la investigación del sistema económico y su evolución, para verificar si el nivel de innovación presente en un sistema económico podría explicarse también desde los supuestos de los sistemas dinámicos y su formulación matemática. Bajo los supuestos de la teoría del caos, los procesos económicos podrían describirse entonces mediante ecuaciones no lineales, recogiendo su dinámica sensible a las condiciones iniciales.

Para ello hemos establecido la hipótesis de que las 27 economías de la Unión Europea (UE) forman un sistema de naturaleza determinista³ e investigado su evolución

² El descubrimiento de la ubicuidad del caos es la tercera gran revolución de la ciencia del último siglo, tras la relatividad y la mecánica cuántica.

³ En las investigaciones que se abordan mediante modelos econométricos esta fase coincidiría con lo que allí se denomina «especificación del modelo» y, su elección, corresponde al investigador; que

entre 1990-2010, utilizando como indicador sintético comparativo las posiciones sucesivas que cada país ha ocupado en el Índice de Desarrollo Humano (IDH) que anualmente publica el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Es evidente que, la evolución en el IDH de cada una de estas economías, ha venido acompañada en el periodo de estudio de cierto nivel de innovación y podríamos preguntarnos si, llegado el año 2010, la observación del nivel de innovación alcanzado en ese año final de la serie podría haberse determinado a partir de las condiciones estructurales de cada economía que, como síntesis, refleja año a año el IDH.

Para determinar en 2010 el nivel de innovación de cada uno de los países de EU-27, en la presente investigación hemos recurrido a la situación que refleja el *Innovation Union Scoreboard* (IUS) en Innometrics (2011) y saber si, en la hipótesis de que las economías europeas se comportan con arreglo a un modelo caótico determinista, su evolución a partir de las condiciones de naturaleza estructural tendría alguna capacidad predictiva sobre el resultado que tiene (comparativamente) en 2010 el comportamiento innovador de los países.

La elección del IUS como indicador sintético del nivel de innovación alcanzado por los países europeos procede de los ocho elementos que lo integran: 1) recursos humanos, 2) apertura, excelencia y atractivo del sistema de innovación, 3) sistema de apoyo financiero a la innovación, 4) perfil inversor de las empresas en innovación, 5) capacidad emprendedora, 6) capital humano, 7) número y calidad de las empresas innovadoras y 8) impacto económico de la innovación.

De esta manera, la situación que arroja la elaboración del IUS para 2010 muestra finalmente cuatro grupos de países. En el primero de ellos están los que el informe de Innometrics denomina líderes en innovación: Dinamarca, Finlandia, Alemania y Suecia. Un segundo grupo de países: Austria, Bélgica, Chipre, Estonia, Francia, Irlanda, Luxemburgo, Holanda, Eslovenia y el Reino Unido, agrupa a los seguidores de los líderes en innovación. El tercer grupo de países son los de innovación moderada y a él pertenecen Chequia, Grecia, Hungría, Italia, Malta, Polonia, Portugal, Eslovaquia y España. Finalmente, el grupo de innovadores modestos, es el de Bulgaria, Letonia, Lituania y Rumanía.

Para contrastar la predecibilidad del nivel de innovación de las economías europeas en 2010, analizaremos la evolución estructural del sistema EU-27 tomando como indicador descriptivo el que proporciona la serie 1990-2010 del Índice de Desarrollo Humano (IDH) del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Consideraremos que las condiciones iniciales del sistema EU-27 son las que determinan los factores que pondera el PNUD para construir el IDH: vida larga y saludable (esperanza de vida al nacer), educación (años de educación promedio y años esperados

normalmente toma como punto de partida una teoría conceptualizadora con alguna capacidad explicativa sobre el fenómeno estudiado. Con posterioridad, el modelo es contrastado a partir de datos factuales. Dependiendo de lo pionero de las investigaciones, los distintos modelos pueden aparecer más o menos acreditados en la literatura académica.

de educación) y nivel de vida digno (PIB per cápita), aceptando que las sucesivas posiciones que alcanza un país en el *ranking* IDH-PNUD desde 1990, son indicativas de la evolución de su nivel de desarrollo y correlacionan positivamente con la capacidad y nivel tecnológico de ese mismo país. Consecuentemente, admitimos en esta investigación que la producción de innovaciones es una variable derivada (dependiente o endógena) del nivel de desarrollo de cada sociedad (Frigant y Talbot 2005); en cuanto que es una respuesta a la demanda de bienes y servicios nuevos o mejorados y que, a su vez, servirán para mejorar las condiciones de producción y consumo de esa sociedad.

Este artículo se estructura en seis apartados. Tras esta introducción, se describen los modelos dinámicos deterministas en el contexto de los paradigmas explicativos de la innovación. El tercer apartado se dedica a caracterizar el fenómeno innovador como producto de un sistema dinámico caótico para, en un cuarto punto, modelizar el comportamiento del desarrollo de los países europeos y estudiar su capacidad predictiva sobre el estado de la innovación en cada uno de ellos en Europa en 2010, con arreglo a las características de aperiodicidad, predecibilidad y dependencia fuerte a las condiciones iniciales, características de los sistemas deterministas. Una vez caracterizados los 27 sistemas económicos investigados, en el quinto apartado de este trabajo se plantea el escenario que, con arreglo al modelo de ajuste obtenido, tendrá la innovación en Europa en 2030. Por último, en el sexto y último apartado del artículo, se obtienen las conclusiones, señalándose posibles orientaciones para trabajos futuros que utilicen los modelos deterministas para predecir niveles futuros de innovación.

2. REVISIÓN SINTÉTICA DE LOS PARADIGMAS EXPLICATIVOS DE LA INNOVACIÓN

Autores como Dosi (1982) sobre las trayectorias tecnológicas, Pavitt (1984) sobre la modelización del cambio técnico, Dosi y Orsenigo (1988) sobre la difusión de las innovaciones, Molero (1990) sobre la relación entre estructura empresarial e innovación, Malerba (2002) sobre los sistemas de innovación y Bengt-Åke (2010) sobre innovación y aprendizaje, constituyen apenas unos pocos ejemplos de investigadores que han dedicado buena parte de su tarea a señalar los vectores (*drivers*) de la innovación, con propuestas que van desde la articulación de una teoría más o menos estructurada del cambio técnico, hasta su modelización y estudio causal. El conjunto de estas investigaciones pertenecen a la que podríamos denominar escuela anglosajona de la innovación, en la que la preocupación fundamental estriba en identificar los factores de los que depende el éxito de las innovaciones y ponderarlos; de forma y manera que sea posible ofrecer a la política económica unas condiciones marco (*framework conditions*) desde las que operar las palancas que favorecen el cambio técnico, su éxito y, en definitiva, la competitividad de la economía.

Como resultado de la aplicación sistemática del paradigma anterior, disponemos hoy de un cuerpo teórico bastante sólido, explicativo de cómo y por qué se innova;

aunque no tan preciso como para saber por qué la innovación florece con mayor vigor en unas sociedades y culturas que en otras. Al final, estudios documentados y de toda solvencia como los que anualmente realiza la Comisión Europea, sintetizan los *drivers* señalados por la teoría (personas, sistema de investigación, apoyo financiero, inversión empresarial, capacidad emprendedora, capital intelectual, pymes innovadoras y entorno económico) materializándolos en 25 indicadores que, ponderados con criterios racionales, permiten resumirlos en un indicador sintético (el IUS-*Summary Innovation Index*) y señalar a Finlandia, Alemania, Dinamarca y Suecia como los líderes aventajados de la innovación en Europa en 2010.

Sin embargo, el planteamiento de la escuela anglosajona, con ser dominante, no es único. La teoría del crecimiento endógeno y los estudios de economía regional, la teoría del *milieu* (Camagni, 1991; Navarro Arancegui, 2009) también ha estudiado el fenómeno, configurando una segunda escuela de pensamiento sobre la innovación que llamamos continental y que tendría su antecedente en la tradición fisiocrática. De acuerdo con ella, y usando el símil agrario, tan importantes para la rentabilidad del factor tierra como el clima, la calidad del suelo y los cultivos productivos, serían el conjunto de las relaciones existentes entre ellos; es decir, el medio o sistema productivo. *Mutatis mutandis* la innovación sería el resultado de una «caja negra» de la que es necesario conocer su dinámica y los mecanismos activadores o inhibidores de los procesos que suceden en su interior. De esta forma, lo relevante para la política económica no sería tanto describir y caracterizar los factores de innovación (que se considerarían dados), cuanto conocer a fondo los mecanismos por los que operan, potenciando las sinergias y desincentivando la aparición de retardos y antagonismos en la generación, validación y transferencia de la tecnología desde el subsistema científico-innovador al productivo y de mercado.

Establecidas las escuelas anglosajona y continental de innovación, pudiéramos pensar que poco más podría hacerse salvo alinear estudios e investigadores en torno a cada uno de estos dos paradigmas. A modo de ejemplo, los trabajos de Say sobre el papel de la tecnología en relación con el éxito o fracaso empresarial (Ballesteros, 1986) pertenecerían a la escuela anglosajona, mientras que los estudios de Marshall sobre las economías logradas en el interior de los distritos industriales manchestrianos se encuadrarían en la escuela continental. Quizá, y abriendo tal vez la puerta al eclecticismo, las dos categorías anteriores pudieran complementarse con una tercera para recoger los casos de más difícil encuadramiento.

No obstante lo anterior, la revisión de la literatura científica nos pone sobre la pista de al menos otros dos esquemas sobre los que teorizar la innovación como fenómeno económico con trascendencia social.

Un tercer paradigma conjetura la innovación como fenómeno aleatorio puro, sometido a las leyes probabilísticas que configuran alguno de los supuestos que Pulido (1993, pp. 88-93) señala para los escenarios estocásticos. Se innovaría por azar, sin ningún fundamento cultural, social, biológico, histórico o acumulativo, se innovaría

sin más móvil que el precedente del comportamiento del ser humano y su circunstancia. La historia de la innovación sería la de la aparición sucesiva o concatenada de «cisnes negros» de Taleb (2007) siguiendo una ruta aleatoria (*random path*). En unos casos sería como respuesta a la laboriosidad y curiosidad innatas de las personas y, en otros, como resultado de una lucha lamarckiana contra la adversidad en un medio natural o social hostil, frente al que deberían desarrollar su ingenio por razones de supervivencia.

De esta forma, una vez alcanzado un determinado grado de bienestar, consecuencia de innovaciones pasadas, el incentivo para seguir innovando procedería de cambios en las condiciones del entorno que supusieran nuevas necesidades vitales (físicas, sanitarias, alimentarias) o las impuestas por su participación de la clase ociosa (Veblen, 1899), que llevarían a nuestro hombre a «acumular y adquirir propiedad con objeto de conservar el buen nombre personal», de acuerdo con la segmentación o estratificación a que diera lugar su pertenencia a un entorno o grupo social concreto. Así, la política económica en materia de innovación tendría un marcado carácter coyuntural y se definiría a partir de la máxima de «esperar y ver». Se esperaría a fin de comprobar si la innovación autónoma (estocástica) ofrecida por el cuerpo social fuera suficiente para afrontar las necesidades del momento y del más inmediato futuro. A continuación cabría observar, con la ayuda de la prospectiva (Bas y Guilló, 2011), si las tendencias de más largo plazo quedarían satisfechas con el nivel actual de innovación; para eventualmente apuntalarlas mediante incentivos altamente direccionales y selectivos orientados a desarrollar innovaciones.

Un cuarto paradigma, en torno al cual se ha elaborado este artículo, es el de la innovación como fenómeno sometido a las leyes del caos determinista. Quinn (1985) alude en su investigación al *caos* al describir y explicar la innovación como un fenómeno complejo e integrado por elementos dispares que, en ausencia de control, conducirían a un desorden inmanejable. Sin embargo, como veremos enseguida, desorden o caos (en sus acepciones más convencionales), difieren conceptualmente del significado de *caos determinista*.

En su investigación Quinn identifica hasta ocho factores que deben armonizarse para innovar: 1) la innovación como respuesta a la demanda, 2) el compromiso del emprendedor con su proyecto, 3) la perseverancia en la tarea innovadora⁴, 4) el sobre coste o aparición de costes no previstos en el proceso, 5) la efectividad de la innovación, 6) la flexibilidad del proceso innovador, 7) la existencia de incentivos reales para los innovadores y 8) la existencia de recursos financieros que asignar a las innovaciones.

A partir de fuentes de información secundarias y de entrevistas con responsables de compañías innovadoras de Europa, EE.UU. y Japón, Quinn concluye la existencia de un modelo exitoso de innovación en grandes compañías integrado por ele-

⁴ El periodo que media entre la innovación y la producción comercial del bien o servicio nuevo o mejorado oscilan entre 3 y 25 años.

mentos como la atmósfera y visión innovadoras, la orientación al mercado, la existencia de esquemas organizativos facilitadores de la comunicación entre ingenieros, diseñadores y comerciales, el enfoque diversificado de la tarea innovadora y el aprendizaje interactivo de los equipos.

Finalmente, este autor identifica tres factores para innovar con éxito: 1) la orientación al mercado de la oportunidad que suscita la innovación, 2) contar con un proceso estructurado para innovar y 3) diversificar los riesgos técnicos, financieros y de mercado que comporta la innovación mediante un portfolio amplio y flexible de proyectos e iniciativas.

Cuadro nº 1. PARADIGMAS EXPLICATIVOS DE LA INNOVACIÓN

Como fenómeno causal (escuela anglosajona)	La innovación depende de la existencia de factores (<i>drivers</i>) que la determinan (<i>framework conditions</i>), representados en este trabajo por los 25 indicadores que integran el IUS.
Como fenómeno relacional (escuela continental)	Pone su énfasis en la relación entre los factores de innovación, que considera dados.
Como fenómeno aleatorio	Se innova por azar siguiendo una ruta aleatoria caracterizada por la aparición de <i>cisnes negros</i> .
Como fenómeno caótico determinista	La innovación tiene lugar en el seno de sistemas dinámicos caracterizables por su aperiodicidad, predecibilidad y dependencia sensible de las condiciones iniciales.

Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, Cheng y Van de Ven (1996) toman el ejemplo de dos innovaciones en el campo de la biomedicina en los que caracterizan el proceso seguido. En ambos casos observaron la presencia de etapas ordenadas en el tiempo, secuencias aleatorias de «acontecimientos ciegos» y procesos estocásticos puros. Como resultado, estos autores encontraron que los equipos responsables de las innovaciones desarrollaban un modelo de patrón aleatorio en las primeras etapas del proceso; para evolucionar después hacia un modelo determinista de fases ordenadas en el tiempo en las etapas finales, excluyendo cualquier compatibilidad (dentro de una misma fase del proceso de innovación) entre los patrones aleatorio y sistemático determinista.

3. LA INNOVACIÓN COMO PRODUCTO DE UN SISTEMA DINÁMICO CAÓTICO

Trabajamos con la hipótesis de que el potencial innovador de un sistema (tal como una región económica o un país) es producto de un sistema caótico determinista por el que tal sistema debería poderse definir y eventualmente modelizar.

Aunque convencionalmente *caos* se asocia con la primera acepción del término en el diccionario de la Real Academia Española de la Lengua (estado amorfo e indefinido que se supone anterior a la ordenación del cosmos) o la segunda (confusión, desorden), el mismo Diccionario ha introducido una tercera acepción que, en el dominio de la física y de las matemáticas, es la que corresponde al caos determinista, entendido como el «comportamiento aparentemente errático e impredecible de algunos sistemas dinámicos, aunque su formulación matemática sea en principio determinista».

Siguiendo a Alvarellos *et al.* (2004) en el análisis de la definición anterior encontramos, en primer lugar, que el comportamiento determinista caótico es propio de los sistemas dinámicos y, en este sentido, todos los sistemas caóticos son dinámicos; pero no todos los sistemas dinámicos son caóticos (cuadro nº 2).

Cuadro nº 2. TIPOLOGÍA DE LOS SISTEMAS DINÁMICOS

	Estabilidad	
	-	+
+ Predecibilidad	Caóticos puros	Caóticos deterministas periódicos
-	Aleatorios puros	Caóticos deterministas aperiódicos

Fuente: Elaboración propia.

En segundo lugar, los sistemas caóticos son aparentemente erráticos e impredecibles; lo que no significa que sólo puedan analizarse de una forma estadística. En efecto, como veremos al definir la tipología de los sistemas dinámicos del cuadro nº 2, apenas los sistemas aleatorios puros gozan de imprevisibilidad estadística absoluta. Por el contrario, encontraremos sistemas caóticos puros, caracterizados por la reiteración errática (pero determinada) de una estructura o construcción geométrica y sistemas caóticos deterministas que, dependiendo del periodo en el que sus trayectorias sean recurrentes (periodicidad cierta o infinita) los clasificaremos, respectivamente, como caóticos deterministas periódicos o aperiódicos.

En la misma línea, Alvarellos *et al.* (2004), entienden por caos «el comportamiento dinámico aperiódico que aparece bajo condiciones totalmente deterministas y que presenta gran sensibilidad a las condiciones iniciales». Si la definición anterior alude a la naturaleza no lineal del caos, los fenómenos caóticos asociados a los sistemas sociales, los entenderemos funcionalmente en el sentido propuesto por Alfonso (1999) como aquellas capacidades que poseen estos sistemas para absorber los choques tecnológicos, acomodándolos al sistema económico.

En sentido amplio, lo relevante y común a todos los sistemas caóticos es que la variable *tiempo* es siempre independiente (exógena) y que todos ellos muestran dependencia sensible a las condiciones iniciales. Ésta última característica expresa la propiedad del sistema por la que pequeñas diferencias en el *input* dan lugar a diferencias muy grandes en el *output*. Como señala Gleik (1998) esta peculiaridad llamó

poderosamente la atención de los científicos pioneros que investigaron estos sistemas: «quienes estudiaron los sistemas caóticos descubrieron que su comportamiento desordenado actuaba como proceso creativo. Ello generaba complejidad⁵. Se trataba de modelos maravillosamente organizados que unas veces eran estables y otras no, en unos casos finitos y en otros infinitos; pero que siempre mostraban la fascinación de las cosas vivas». Así, la ciencia del caos dio paso a definir su propio lenguaje, algunos de cuyos términos más conocidos se recogen en el cuadro nº 3.

Cuadro nº 3. ALGUNOS TÉRMINOS FUNDAMENTALES PARA CARACTERIZAR LOS SISTEMAS DINÁMICOS

Sistema dinámico: es todo sistema en el que las ecuaciones que lo representan integran como variables al tiempo o una función de él. Pueden ser: aleatorios puros, caóticos puros, caóticos periódicos o caóticos aperiódicos.

Sistema dinámico predecible (predecibilidad del sistema): es aquél cuya evolución no está sujeta a la aleatoriedad estadística absoluta.

Ecuaciones y sistema de ecuaciones de evolución: son las que caracterizan un sistema dinámico. Este sistema de ecuaciones puede ser uni o pluriecuacional.

Grados de libertad del sistema: es el número de variables independientes (exógenas) que posee.

Espacio de fase: es el que resulta de representar gráficamente las soluciones del sistema de ecuaciones de evolución de un sistema dinámico.

Estado estacionario: es aquél en el que las variables que caracterizan el sistema no varían con el tiempo.

Solución estable: es aquella cuya distancia infinitesimal a cualquier otra tiene periodo infinito.

Sistema dinámico estable: es aquél en el que el sistema de ecuaciones que lo define presenta soluciones estables.

Solución inestable: es aquella para la que existe al menos una solución del sistema que no cumple la condición de estabilidad, haciendo inestable al sistema de referencia.

Dominio de atracción y atractor: son regiones o puntos del espacio, respectivamente, hacia los que convergen las trayectorias representativas de la evolución temporal de un sistema y en torno a las que permanecen o se estabilizan sus soluciones. Las soluciones del sistema correspondientes a los dominios de atracción convergen asintóticamente a soluciones estables del sistema.

Órbita: es el lugar geométrico de las soluciones de un sistema dinámico correspondientes a un intervalo finito de tiempo.

Punto fijo: es el punto de convergencia único de una órbita. Una propiedad importante de este punto es que pertenece al estado estacionario del sistema.

Bifurcaciones y puntos de bifurcación: son aquéllos a partir de los cuales se produce un cambio sustancial en el comportamiento de un sistema dinámico. Por ejemplo, dejando de tener una solución estable o pasando a tenerla.

Estructura fractal: es aquella cuya dimensión no es un número entero.

Fractal: es un objeto semigeométrico cuya estructura básica, fragmentada o irregular se repite a diferentes escalas. El término fue propuesto por el matemático Mandelbrot en 1975 y deriva del latín fractus, que significa quebrado o fracturado. Muchas estructuras naturales son de este tipo.

Autosimilaridad: propiedad característica de las estructuras fractales por la que muestran recurrencia estadística con los cambios de escala.

Fuente: Elaboración propia con aportaciones de Alvarellos et al. (2004) y Gleik (1998).

⁵ Entendida como sinónimo de diversidad e interacción.

La variable dependiente (endógena) en los sistemas dinámicos es el *output* del sistema, que se caracterizará mediante una o varias ecuaciones de evolución, siendo la naturaleza de la solución del sistema de ecuaciones la que nos permita clasificar estos sistemas en alguna de las cuatro categorías del cuadro nº 2. La primera es la de los sistemas aleatorios puros a la que se refieren Quinn y Taleb. En ellos, las soluciones del sistema podrían obtenerse a partir de una tabla de números aleatorios con cierta probabilidad. Estos sistemas coinciden con los que Pulido denomina estocásticos.

La segunda categoría de sistemas dinámicos es la de caóticos puros, que reúne a aquéllos en los que el sistema de ecuaciones no tiene soluciones estables por lo que dejan de ser predecibles o lo son parcialmente. A este grupo pertenecen el conjunto de sistemas dinámicos que evolucionan como estructuras fractales⁶. En algún caso pueden llegar a confundirse con los del primer grupo de aleatorios puros (Alvarellos *et al.* 2004) y, en otros, la estabilidad de las soluciones podría ser temporal; con lo que tales sistemas caóticos puros participarían durante ese período de las características de la tercera categoría que se describe seguidamente.

Esta tercera categoría de sistemas dinámicos es la que denominamos caóticos deterministas aperiódicos. La idea de determinismo se refiere a que las ecuaciones de evolución que caracterizan al sistema pueden presentar soluciones estables en algún momento, lo que les hace predecibles (Blazsek y Escribano 2010). Por su parte, el atributo de aperiodicidad está relacionado con la falta de recurrencia de cada posible solución, de forma que el *output* podría mostrarse en forma de oscilaciones irregulares que, por no repetirse en el tiempo, tienen período infinito. Conocido el comportamiento de uno de estos sistemas, podría identificarse en él la aparición de fenómenos que en la literatura se han descrito como propios de los sistemas dinámicos: estados estacionarios, atractores, órbitas, bifurcaciones y puntos fijos (Gleik, 1998; Alvarellos *et al.* 2004) que pueden presentarse con mayor o menor estabilidad vinculados a dominios espacio-temporales de atracción.

Finalmente, la cuarta categoría de sistemas dinámicos es la de caóticos deterministas periódicos en los que, a diferencia de los aperiódicos, su sistema de ecuaciones tiene soluciones estables y recurrentes o periódicas, siendo igualmente predecibles (Maravall, 1966, 270-275).

A partir de la conceptualización de la innovación como producto de un sistema dinámico caótico, constituye una importante cuestión práctica saber si, mediante una serie temporal definitoria del *output* del sistema, es posible caracterizarlo conforme a alguna de las categorías descritas y relacionar su comportamiento con el nivel de innovación alcanzado en él.

⁶ Tales como las de Weierstrass, el triángulo de Sierpinsky, los conjuntos de Julia y Mandelbrot y el fractal de Lyapunov, por citar algunos de los más conocidos y estudiados.

4. MODELIZACIÓN DETERMINISTA DEL NIVEL EUROPEO DE DESARROLLO PARA EL SISTEMA EU-27 ENTRE 1990-2010

Con el fin de contrastar nuestra hipótesis de que la innovación en Europa es producto de un fenómeno sometido a las leyes del caos determinista:

1. Tomamos como sistema a investigar el que configura la Unión Europea (EU-27) fijando como variable de estado la posición ordinal que cada uno de los países miembros ha registrado en el Índice de Desarrollo Humano (IDH) del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) entre 1990 y 2010. Tal posición consideramos que es *output* de un sistema definido por 27 series temporales que consideramos independientes entre sí⁷.
2. Aceptamos con un alto grado de confirmación inductiva el hecho acreditado en la literatura económica del crecimiento (Kalecki, 1956), la correlación positiva entre el nivel de desarrollo y el potencial innovador de las economías; tanto desde el lado de la oferta (una economía desarrollada innova más) como desde el de la demanda (a mayor nivel de desarrollo el consumo de productos nuevos o mejorados aumenta).
3. De entre las posibilidades que ofrece la tipología de los sistemas dinámicos, demostraremos que la innovación en EU-27 es producto de un sistema determinista aperiódico (cada una de las 27 series que lo definen es aperiódica), predecible (las ecuaciones de evolución del sistema tienen soluciones estables) y que tiene dependencia sensible a las condiciones iniciales. Si dichas condiciones son de naturaleza estructural y vienen determinadas por las posiciones sucesivas que ocupa cada país en el *ranking* IDH-PNUD, deben pues poder explicar el perfil innovador actual de cada economía y que, para esta investigación, establecemos por la posición que cada país obtiene en el IUS de 2010, tomándolo como indicador del nivel de innovación alcanzado por cada una de las economías de EU-27.

4.1. Un modelo y dos funciones

En el caso investigado, la naturaleza de los datos (IDH es una variable continua y el IUS-2010 lo es discreta) no nos ha permitido establecer una relación funcional directa entre ambas del tipo: $IUS_i-2010 = \phi_i (IDH_i)$, que relacionara funcionalmente cómo el IDH (ordinal comparativo de desarrollo de la economía *i*) determina el nivel de innovación IUS_{*i*} en 2010 como líder, seguidor, moderado o modesto. Si bien este hecho constituye una limitación en los resultados de nuestro estudio, no resta generalidad a la propuesta de considerar la innovación como resultado de la evolución de un sistema dinámico determinista aperiódico del cuadro nº 2. Expresado de forma sintética y para cada país y año, consideramos el sistema de dos ecuaciones:

⁷ Este supuesto excluye la existencia de externalidades de red que, en cualquier caso, sabemos que existen. Tal simplificación se considera admisible: 1) al nivel de modelización teórica y 2) por no disponer en la fuente de datos con información de sólida y general aceptación que nos permitiera contrastar su aportación al fenómeno investigado.

$$IDH_{ti} = a + b * \ln(t)$$

$$IUS_{ti} = \phi_i (IDH_{ti}), \text{ donde:}$$

«i» se refiere a cada economía o país, «t» es la variable tiempo como regresor de IDH, expresada en años, con $T(1990) = 1$ en esta investigación, y «a» y «b» son parámetros estimados que, respectivamente, expresan la dependencia de las condiciones iniciales de cada economía y la incidencia de su evolución dinámica sobre el nivel comparativo de crecimiento, que se traduciría en innovación de acuerdo con la función ϕ_i , propia de cada economía o país. Dicha función ϕ_i sabemos que existe; pero no podemos determinarla todavía, al no disponer de una serie temporal del IUS con suficientes términos.

Cuadro nº 4. INDICADORES QUE INTEGRAN LOS OCHO COMPONENTES QUE CONFIGURAN EL INNOVATION UNION SCOREBOARD INDICATORS (IUS) EN 2010

I. Recursos humanos: 1) nuevos graduados de 3er ciclo (doctorado) entre 25 y 34 años, 2) porcentaje de la población que ha completado la educación universitaria entre 30 y 34 años y 3) porcentaje de jóvenes (20-24 años) que han finalizado el nivel superior de la educación secundaria.

II. Apertura, excelencia y atractivo de los sistemas de innovación: 1) publicaciones científicas internacionales por millón de habitantes, 2) número de publicaciones científicas entre el 10% de las publicaciones mundiales más citadas y 3) porcentaje de estudiantes de doctorado fuera de la EU, sobre el total de doctorandos.

III. Financiación y apoyo a la innovación: 1) porcentaje del gasto público en I+D con respecto al PIB y 2) volumen de capital riesgo (primeras etapas, expansión y reemplazamiento) como porcentaje del PIB.

IV. Inversión empresarial: 1) gastos empresariales en I+D con respecto al PIB y 2) gastos empresariales en no I+D con relación a la cifra de ventas.

V. Creación de empresas: 1) porcentaje de pyme innovadoras sobre el total, 2) porcentaje de pyme sobre el total involucradas en proyectos colaborativos con otras empresas y 3) copublicaciones públicas y privadas por millón de habitantes.

VI. Activos intelectuales: 1) número de patentes solicitadas por cada 1.000 millones de euros de PIB, 2) número de patentes solicitadas por cada 1.000 millones de euros de PIB referidas a la mitigación del cambio climático y en el ámbito de la salud, 3) número de marcas comerciales de ámbito comunitario por cada 1.000 millones de euros de PIB y 4) número de diseños con implantación comunitaria por cada 1.000 millones de euros de PIB.

VII. Capacidad innovadora: 1) porcentaje de pyme que han introducido productos o procesos sobre el total de pyme, 2) porcentaje de pyme que han introducido innovaciones en organización o marketing sobre el total de pyme y 3) número de empresas innovadoras de alto crecimiento.

VIII. Impactos económicos de la innovación: 1) porcentaje de empleados en actividades intensivas en conocimiento en la industria y los servicios sobre el total de empleados, 2) porcentaje de exportaciones sobre el total correspondiente a productos de media y alta tecnología, 3) porcentaje de exportaciones sobre el total correspondiente a servicios intensivos en conocimiento, 4) porcentaje sobre las ventas totales que suponen las ventas en nuevos mercados de las empresas innovadoras y 5) porcentaje de los ingresos sobre el PIB que suponen las ventas y cesiones de licencias y patentes.

Fuente: Innometrics (2011) pp. 7 y 8, con indicadores referidos al periodo 2003-2009.

Cuadro nº 5. ÍNDICE DE DESARROLLO HUMANO 1990-2010 DEL PNUD. POSICIÓN DE LOS PAÍSES EU-27

País	2010	2009	2008-7	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	1992	1991	1990
Alemania	10	22	25	21	20	19	18	17	17	14	14	19	19	18	15	11	12	12	14	12
Austria	25	14	15	14	17	14	16	15	16	16	16	13	12	13	14	12	15	15	17	18
Bélgica	18	17	17	13	9	6	6	4	5	7	5	12	13	12	12	13	16	16	16	15
Bulgaria	58	61	53	54	55	56	57	62	57	60	63	67	69	62	65	48	40	35	33	27
Chequia	28	36	32	30	31	32	32	33	33	34	36	39	39	37	38	27	26	27	27	25
Chipre	35	32	28	29	29	30	25	26	25	22	26	23	24	23	23	26	27	25	26	22
Dinamarca	19	16	14	15	14	17	11	14	15	15	15	18	18	17	16	15	13	13	12	9
Eslovaquia (SK)	31	42	42	42	42	42	39	36	35	40	42	42	42	41	40	27	26	27	27	25
Eslovenia (SI)	29	29	27	27	26	27	29	29	29	29	33	37	35	37	37	37	37	37	34	34
España	20	15	13	19	21	20	19	21	21	21	21	11	11	10	9	23	23	23	20	16
Estonia (EE)	34	40	44	40	38	36	41	42	44	46	54	77	71	68	40	29	34	33	31	26
Finlandia	16	12	11	11	13	13	14	10	10	11	13	6	8	6	5	16	14	14	13	11
Francia	14	8	10	16	16	16	17	12	13	12	11	2	2	7	8	6	8	8	10	8
Grecia	22	25	24	24	24	24	24	24	23	25	27	20	20	21	22	25	25	26	24	22
Países Bajos	7	6	9	10	12	5	5	8	8	8	8	7	6	4	4	9	9	9	8	4
Hungría	36	43	36	35	35	38	38	35	36	43	47	47	48	46	50	31	28	28	28	30
Irlanda	5	5	5	4	8	10	12	18	18	18	20	17	17	19	19	21	21	22	23	17
Italia	23	18	20	17	18	21	21	20	20	19	19	21	21	20	20	22	22	21	18	14
Letonia (LV)	48	48	45	45	48	50	50	53	50	63	74	55	55	55	48	30	35	33	31	26
Lituania (LT)	44	46	43	41	39	41	45	49	47	52	79	79	76	81	71	28	29	33	31	26
Luxemburgo	24	11	18	12	4	15	15	16	12	17	17	26	27	27	27	17	18	19	19	12
Malta	33	38	34	32	32	31	33	30	30	27	32	27	34	28	34	41	39	38	29	36
Polonia	41	41	37	37	36	37	35	37	38	44	44	52	58	56	51	49	48	32	41	98
Portugal	40	34	29	28	27	26	23	28	28	28	28	33	31	35	36	42	41	39	36	36
Reino Unido	26	21	16	18	15	12	13	13	14	10	10	14	15	16	18	10	10	10	11	10
Rumanía	50	63	60	60	64	69	72	63	58	64	68	74	78	74	98	72	77	60	58	41
Suecia (SE)	9	7	6	5	6	2	3	2	4	6	6	10	10	9	10	4	5	5	4	2

Fuente: PNUD. Informes sobre desarrollo humano 1990-2010.

4.2. Especificación de las condiciones iniciales

De acuerdo con su definición (PNUD 2010) el IDH constituye un indicador sintético del nivel de desarrollo económico y social de los países que, por su configuración, permite establecer con verosimilitud la hipótesis de correlación positiva entre las posiciones favorables (altas) de los países en el *ranking* y su potencial innovador (cuadro nº 5). Esta hipótesis parece suficientemente contrastada, tanto por la teoría del crecimiento, como por el conocimiento que disponemos sobre la dinámica de la innovación: son las economías de mayor desarrollo relativo las que reúnen las condiciones (*milieu*) propicias para innovar y, en ellas, es posible identificar también los vectores (*drivers*) que propician el fenómeno innovador (OCDE 2011).

En efecto, los componentes del IDH-PNUD (vida larga y saludable de las personas, duración del período educativo y nivel de vida digno asociado al PIB *per capita*), se correlacionan con la capacidad de demanda de bienes y servicios, el capital humano acumulado y el poder de compra; factores que aparecen en la literatura como los determinantes de la producción y el consumo de bienes y servicios innovadores.

4.3. Estudio de la aperiodicidad

La existencia de periodicidad en series temporales se plantea para saber si la serie obedece a alguna ley o, por el contrario, es un mero producto del azar (Alvarellós *et al.*, 2004). El análisis descriptivo inicial de las series del IDH-PNUD (1990-2010) para EU-27 nos indica una amplia variabilidad entre las posiciones alcanzadas por los países y su falta de recurrencia (cuadro nº 6) lo que, como hipótesis, nos permitiría asegurar la aperiodicidad del sistema considerado.

No obstante, por la naturaleza del IDH-PNUD y sus componentes, la serie reúne la condición de autoregresividad y le es aplicable el método clásico de estudio de series cronológicas, por lo que cabe analizar la existencia de una tendencia o patrón de comportamiento a largo plazo y ciclo o evolución a medio plazo (cuadro nº 7), estacionalidad periódica (cuadros nº 8 y 9), predecibilidad (cuadros nº 10, 11, 12 y 13) y la presencia de un componente de irregularidad o aleatoriedad por el que la serie no obedecería a patrón alguno de comportamiento.

Para realizar los análisis anteriores, esta investigación sigue el procedimiento metodológico de Alcaide-Arenales (1991), con el significado que estos autores señalan para cada fase (análisis de la tendencia, existencia de ciclo, estacionalidad y presencia de componente aleatorio), aplicado a los ajustes lineal, logarítmico y cuadrático.

A *priori*, nuestra hipótesis básica de trabajo (la innovación como resultado de la evolución de un sistema determinista aperiódico), no tiene capacidad para establecer un modelo particular de ajuste en la evolución del IDH, por lo que se han ensayado los tres citados. El primero de ellos, el lineal, por aplicación del principio científico de parsimonia; en virtud del cual, si el modelo más elemental explica el fenómeno investigado, debe aceptarse. Verificadas las limitaciones del modelo lineal, se han ensayado dos modelos

curvilíneos (logarítmico y cuadrático) que, mostrando una capacidad de ajuste coherente con la teoría que soporta nuestra investigación, su nivel de significación era mayor.

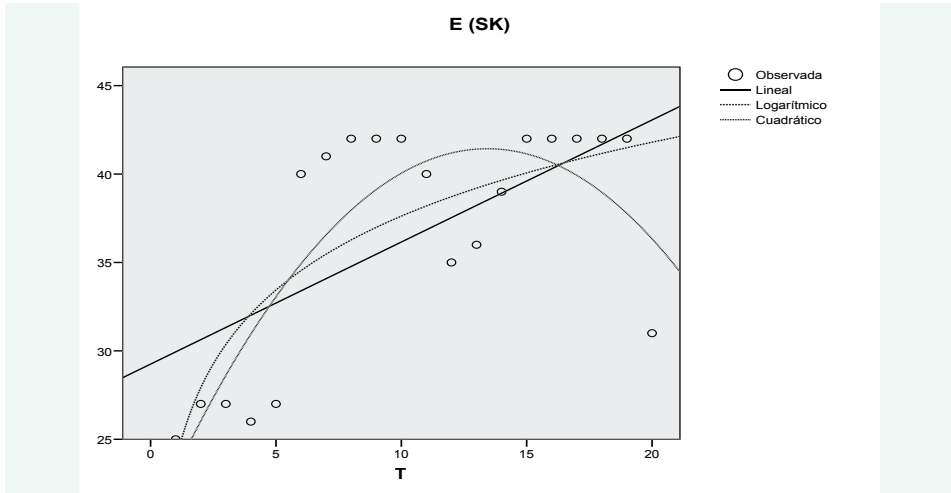
Cuadro nº 6. POSICIONES EN EL ÍNDICE IDH. ANÁLISIS DESCRIPTIVO EU-27 (1990-2010)

País	Media	Sigma	CV (%)	Rango
Alemania	16,3	3,8	23,1	12
Austria	15,4	2,8	18,2	13
Bélgica	11,6	4,6	40,1	14
Bulgaria	54,1	11,7	21,7	42
Chequia	32,1	4,5	13,9	14
Chipre	26,3	3,4	12,9	13
Dinamarca	14,8	2,5	16,6	10
Eslovaquia (SK)	36,5	6,6	18,2	17
Eslovenia (SI)	32,0	4,2	13,1	11
España	17,9	4,7	26,2	12
Estonia (EE)	43,4	13,9	32,1	28
Finlandia	11,4	3,2	27,8	11
Francia	10,2	4,4	42,9	15
Grecia	23,6	1,9	8,0	7
Países Bajos	7,3	2,2	29,8	8
Hungría	37,9	7,2	18,9	20
Irlanda	15,0	6,4	43,0	19
Italia	19,8	2,0	10,4	9
Letonia (LV)	47,1	11,6	24,7	44
Lituania (LT)	49,0	18,2	37,2	55
Luxemburgo	17,7	6,2	34,9	23
Malta	32,9	4,0	12,1	14
Polonia	45,6	14,3	31,4	26
Portugal	32,4	5,5	17,1	19
Reino Unido	14,1	4,3	30,3	16
Rumanía	66,2	11,8	17,8	57
Suecia (SE)	5,8	2,7	46,8	8

Fuente: PNUD. Informes sobre desarrollo humano 1990-2010.

El análisis de la tendencia del cuadro nº 7 señala que sólo un país (Eslovaquia) muestra un ajuste significativo a los modelos lineal, logarítmico y cuadrático (gráfico nº 1), siendo mayor el número de países (Austria, España, Finlandia, Grecia, Holanda, Italia, Lituania, Luxemburgo, Malta y Suecia) en los que el ajuste no es significativo. Si analizamos el ajuste a cada uno de los tres modelos, los resultados tampoco son concluyentes pues, de 27 países, diez se ajustan al modelo logarítmico, siete al cuadrático y siete al modelo lineal, al nivel del 1%.

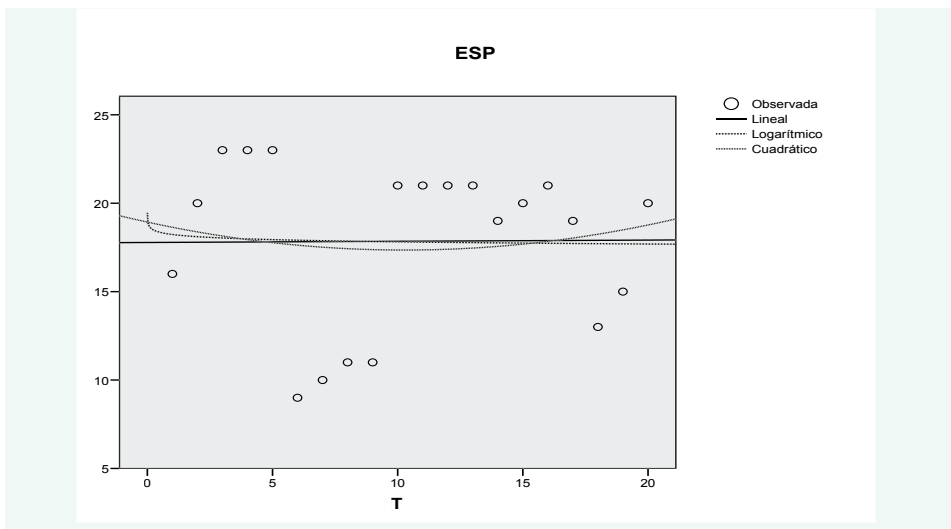
Gráfico nº 1. ESLOVAQUIA. AJUSTE DE LA POSICIÓN EN EL IDH (1990-2010)



Fuente: Elaboración propia.

Para cada economía de EU-27, los tres modelos contrastados toman como variables relevantes la posición en el ranking IDH-PNUD como variable de estado o dependiente, y el tiempo como variable independiente, haciendo de T (1990)=1, origen de tiempos.

Gráfico nº 2. ESPAÑA. AJUSTE DE LA POSICIÓN EN EL IDH (1990-2010)



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro nº 7. ANÁLISIS DE LA TENDENCIA. POSICIÓN DE LOS PAÍSES EU-27 EN EL IDH (1990-2010). MODELOS Y SIGNIFICACIÓN ESTADÍSTICA

País	RLS	R Log	R Cuad
Alemania	**	**	NO
Austria	NO	NO	NO
Bélgica	NO	NO	**
Bulgaria	NO	**	**
Chequia	NO	NO	**
Chipre	**	NO	NO
Dinamarca	NO	**	NO
Eslovaquia (SK)	**	**	**
Eslovenia (SI)	**	**	NO
España	NO	NO	NO
Estonia (EE)	NO	NO	*
Finlandia	NO	NO	NO
Francia	**	NO	NO
Grecia	NO	NO	NO
Países Bajos	NO	NO	NO
Hungría	NO	NO	**
Irlanda	**	**	NO
Italia	NO	NO	NO
Letonia (LV)	*	**	**
Lituania (LT)	NO	NO	NO
Luxemburgo	NO	NO	NO
Malta	NO	NO	NO
Polonia	NO	**	NO
Portugal	NO	**	**
Reino Unido	**	**	NO
Rumanía	NO	NO	*
Suecia (SE)	NO	NO	NO

Ajustes: regresión lineal simple (RLS), regresión logarítmica (RLog), regresión cuadrática (R Cuad): (*) significación estadística al nivel del 5%, (**) significación estadística al nivel del 1%, (NO) ajuste no significativo estadísticamente.

Fuente: Elaboración propia a partir de PNUD. Índice de desarrollo humano (1990-2010).

Dos de los casos extremos en la determinación del espacio de fase, se ponen de relieve en los gráficos nº 1 y 2. En el caso de Eslovaquia (gráfico nº 1) la menor dispersión de las posiciones del IDH entre 1990-2010 permite un mejor ajuste de los modelos. Por el contrario, en caso español (gráfico nº 2), la dispersión de los valores del IDH es mayor, no resultando significativo el ajuste a ninguna de las tres funcio-

nes investigadas. En ninguno de los 81 ajustes investigados (27 países, 3 modelos) el resultado ha sido la aparición de lugares geométricos recurrentes; tales como órbitas o puntos fijos, característicos de algunos sistemas dinámicos.

Cuadro n° 8. **ANÁLISIS DE ESTACIONALIDAD NÚMEROS ÍNDICES IDH 2010-1990**

Media	CE	MC	Índice
27,59	-0,4712	27,12	100,38
27,78	-0,4464	27,33	101,15
26,30	-0,4216	25,87	95,76
25,89	-0,3968	25,49	94,35
25,89	-0,372	25,52	94,44
26,26	-0,3472	25,91	95,90
26,41	-0,3224	26,09	96,54
26,56	-0,2976	26,26	97,18
26,15	-0,2728	25,88	95,76
27,81	-0,248	27,57	102,02
30,67	-0,2232	30,44	112,67
31,41	-0,1984	31,21	115,50
31,81	-0,1736	31,64	117,10
31,19	-0,1488	31,04	114,86
30,74	-0,124	30,62	113,31
25,59	-0,0992	25,49	94,35
25,85	-0,0744	25,78	95,40
24,44	-0,0496	24,39	90,28
23,74	-0,0248	23,72	87,77
23,04	0	23,04	85,26
27,26	-0,2356	27,02	100,00

(CE) Corrección por estacionalidad, (MC) Media corregida, (Índice) Número índice de variación estacional.

Fuente: Elaboración propia.

La corrección por estacionalidad para cada año entre 1990 y 2010 es la que señala el cuadro n° 8. Dicha corrección permite calcular el número índice de variación estacional que, aplicado a la serie original de cada país en 2010, da como resultado la invariabilidad de las posiciones alcanzadas en ese año, según se muestra en el cuadro n° 9. Al coincidir las posiciones iniciales de 2010 en el *ranking* IDH-PNUD con las finales

corregidas de estacionalidad (cuadro nº 9) se infiere que, entre 1990 y 2010, éstas no se han visto afectadas por movimientos cíclicos, lo que nos indica también la ausencia de recurrencia en el comportamiento del IDH durante el periodo investigado y, consecuentemente, confirma su aperiodicidad.

Cuadro nº 9. ESTACIONALIDAD. IDH 2010. CORRECCIÓN DE LA POSICIÓN RELATIVA EN EL RANKING POR ESTACIONALIDAD

País	IN	CE	VA
Alemania	10	10	0
Austria	25	25	0
Bélgica	18	18	0
Bulgaria	58	58	0
Chequia	28	28	0
Chipre	35	35	0
Dinamarca	19	19	0
Eslovaquia (SK)	31	31	0
Eslovenia (SI)	29	29	0
España	20	20	0
Estonia (EE)	34	34	0
Finlandia	16	16	0
Francia	14	14	0
Grecia	22	22	0
Países Bajos	1	1	0
Hungría	36	36	0
Irlanda	5	5	0
Italia	23	23	0
Letonia (LV)	48	48	0
Lituania (LT)	44	44	0
Luxemburgo	24	24	0
Malta	33	33	0
Polonia	41	41	0
Portugal	40	40	0
Reino Unido	26	26	0
Rumanía	50	50	0
Suecia (SE)	9	9	0

(IN) Posición en 2010, (CE) Posición en 2010 corregida por estacionalidad, (VA) Variación en la posición inicial de 2010.

Fuente: Elaboración propia.

4.4. Predecibilidad y dependencia sensible de las condiciones iniciales

Los resultados obtenidos por el análisis tendencial sólo nos facultarían para utilizar las tres ecuaciones de evolución en el caso de Eslovaquia, país para el que el ajuste de los tres modelos es significativo. Por otra parte, la ausencia de periodicidad y ciclo, concluiría con la existencia de un elevado componente aleatorio en el comportamiento del sistema EU-27, de acuerdo con los parámetros tradicionales del análisis de series temporales.

Sin embargo, y para explorar las posibilidades que ofrece la teoría del caos determinista en relación con el caso estudiado, realizaremos el análisis de predecibilidad y dependencia sensible para los países y modelos que han registrado ajustes significativos al nivel del 1%.

Siete países (Alemania, Chipre, Eslovaquia, Eslovenia, Francia, Irlanda y Reino Unido) se ajustaron al modelo lineal y siete al modelo cuadrático (Bélgica, Bulgaria, Chequia, Eslovaquia, Hungría, Letonia y Portugal), siendo diez los que se ajustaron al modelo logarítmico: Alemania, Bulgaria, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, Irlanda, Letonia, Polonia, Portugal y Reino Unido, como se muestra a continuación:

Cuadro nº 10. PREDECIBILIDAD. AJUSTE DEL MODELO LOGARÍTMICO

ALEMANIA	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta		
ln(T)	2,725	,885	,587	3,078	,006
(Constante)	10,532	2,001		5,264	,000
BULGARIA	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta		
ln(T)	10,773	2,261	,747	4,764	,000
(Constante)	31,296	5,111		6,123	,000
DINAMARCA	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta		
ln(T)	1,712	,589	,565	2,907	,009
(Constante)	11,175	1,331		8,393	,000
ESLOVAQUIA	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta		
ln(T)	6,030	1,302	,737	4,632	,000
(Constante)	23,737	2,942		8,068	,000

ESLOVENIA	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta		
ln(T)	-3,561	,877	-,691	-4,059	,001
(Constante)	39,487	1,983		19,915	,000

IRLANDA	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta		
ln(T)	-5,550	1,328	-,702	-4,179	,001
(Constante)	26,698	3,002		8,895	,000

LETONIA	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta		
ln(T)	9,049	2,620	,631	3,454	,003
(Constante)	27,945	5,921		4,720	,000

POLONIA	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta		
ln(T)	-11,352	3,184	-,643	-3,566	,002
(Constante)	69,630	7,196		9,677	,000

PORTUGAL	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta		
ln(T)	-3,808	1,335	-,558	-2,852	,011
(Constante)	40,461	3,018		13,406	,000

REINO UNIDO	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta		
ln(T)	2,986	1,018	,569	2,934	,009
(Constante)	7,779	2,300		3,383	,003

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de predecibilidad

Si el sistema EU-27 es predecible⁸, las ecuaciones de evolución (ajuste) deberían poder confirmar la posición de los países en el *ranking* IDH-PNUD para T=1 (1990), T=10 (2000) y T=20 (2010). Los resultados para cada función de ajuste se resumen a continuación, señalándose sombreadas las posiciones reales (las publicadas del IDH) sobre las estimadas.

⁸ Esto es, no es aleatorio puro. Vid. Apartado 3 *ut supra*.

Cuadro nº 11. PREDECIBILIDAD. MODELO LOGARÍTMICO. POSICIÓN DE LOS PAÍSES EN EL INFORME DE DESARROLLO HUMANO IDH-PNUD

País	2010	T=20	2000	T=10	1990	T=1
Alem	10	19	14	17	12	11
Bulg	58	64	60	56	27	31
Din	19	16	15	15	9	11
SK	31	42	40	38	25	24
SI	29	29	29	31	34	39
Irl	5	10	18	14	17	27
Let	48	55	63	49	26	28
Pol	41	36	44	43	98	70
Port	40	29	28	32	36	40
UK	26	17	10	15	10	8

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro nº 12. PREDECIBILIDAD. MODELO CUADRÁTICO. POSICIÓN DE LOS PAÍSES EN EL INFORME DE DESARROLLO HUMANO IDH-PNUD

País	2010	T=20	2000	T=10	1990	T=1
Bel	18	17	7	8	15	20
Bul	58	50	60	62	27	30
Cheq	28	28	34	35	25	25
SK	31	36	40	40	25	23
Hun	36	33	43	42	30	28
Let	48	40	63	55	26	24
Port	40	33	28	29	36	42

Fuente: Elaboración propia.

Globalmente considerado, el modelo logarítmico del cuadro nº 11 aparece como el más consistente para predecir la evolución del sistema EU-27, en la medida en que es capaz de explicar la posición alcanzada para 1990, 2000 y 2010 por un mayor número de países.

Cuadro nº 13. PREDECIBILIDAD. MODELO LINEAL. POSICIÓN DE LOS PAÍSES EN EL INFORME DE DESARROLLO HUMANO IDH-PNUD

País	2010	T=20	2000	T=10	1990	T=1
Ale	10	67	14	38	12	11
Chip	35	30	22	26	22	22
SK	31	43	40	36	25	30
SI	29	26	29	32	34	38
Fran	14	14	12	10	8	6
Irl	5	6	18	15	17	24
UK	26	19	10	14	10	10

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de dependencia sensible de las condiciones iniciales

La dependencia sensible de las condiciones iniciales fue definida por Poincaré en su célebre trabajo *Ciencia y Método* de 1903, en los términos recogidos por Alvarellos *et al.* (2004): si en el estudio de un fenómeno «una causa muy pequeña que se nos escapa determina un efecto considerable que no podemos ignorar; decimos entonces que este efecto es debido al azar». Cuando comprobamos que este fenómeno no está regido por leyes conocidas, «puede suceder que pequeñas diferencias en las condiciones iniciales, las engendren muy grandes en los fenómenos finales; un pequeño error sobre los primeros produciría un error enorme sobre los últimos. La predicción entonces se ha vuelto imposible y nos encontramos con un fenómeno fortuito».

Cuadro nº 14. DEPENDENCIA DE LAS CONDICIONES INICIALES. MODELO LOGARÍTMICO. POSICIÓN DE LOS PAÍSES EN EL INFORME DE DESARROLLO HUMANO IDH-PNUD

País	T=40	T=35	T=30	2010	T=20
Alem	21	20	20	10	19
Bulg	71	70	68	58	64
Din	17	17	17	19	16
SK	46	45	44	31	42
SI	26	27	27	29	29
Irl	6	7	8	5	10
Let	61	60	59	48	55
Pol	28	29	31	41	36
Port	26	27	28	40	29
UK	19	18	15	26	17

Fuente: Elaboración propia.

Consecuentemente deberemos simular en nuestro sistema EU-27 la situación prevista por Poincaré, proyectando en el tiempo su evolución, a partir de la situación de partida.

Cuadro nº 15. DEPENDENCIA DE LAS CONDICIONES INICIALES. MODELO CUADRÁTICO. POSICIÓN DE LOS PAÍSES EN EL INFORME DE DESARROLLO HUMANO IDH-PNUD

País	T=40	T=35	T=30	2010	T=20
Bel	109	77	51	18	17
Bul	-126	-63	-13	58	50
Cheq	-43	-18	2	28	28
SK	-42	-14	9	31	36
Hun	-65	-30	-3	36	33
Let	-147	-80	-27	48	40
Port	98	75	56	40	33

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro nº 16. DEPENDENCIA DE LAS CONDICIONES INICIALES. MODELO LINEAL. POSICIÓN DE LOS PAÍSES EN EL INFORME DE DESARROLLO HUMANO IDH-PNUD

País	T=40	T=35	T=30	2010	T=20
Ale	126	111	97	10	67
Chip	38	36	34	35	30
SK	57	53	50	31	43
SI	15	17	20	29	26
Fran	22	20	18	14	14
Irl	-13	1	-4	5	6
UK	28	26	23	26	19

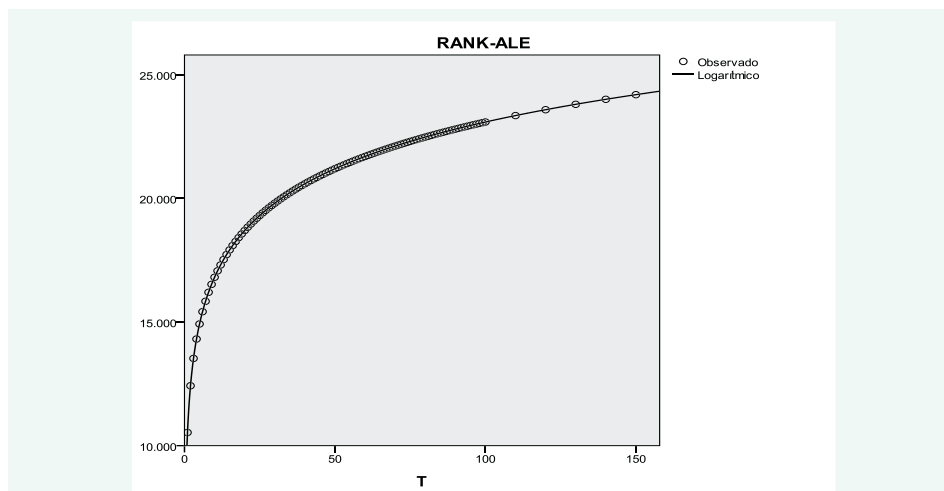
Fuente: Elaboración propia.

Como en el caso de la predecibilidad, la dependencia sensible de las condiciones iniciales también muestra mejor su evolución con arreglo al modelo logarítmico (cuadro nº 14). En el horizonte de 2030 (T=40) diez países mostraron un

buen ajuste al modelo, alcanzando una solución estable cercana a la de 2020 ($T=30$), que cabría asimilar a un nivel estacionario de desarrollo medido como posición en el IDH-PNUD.

A fin de poner de relieve en dos casos la estabilidad del estado estacionario alcanzado; entendido como dominio espacio-temporal de atracción del sistema que predice el modelo logarítmico, se han tomado Alemania y el Reino Unido con sus respectivas funciones de ajuste. En el caso de Alemania, $R = 10,53 + (2,72 * \ln(T))$ y, en el del Reino Unido, $R = 7,78 + (2,98 * \ln(T))$, donde R es la variable dependiente (posición en el *ranking* IDH-PNUD) y T (años) la variable independiente, siendo las respectivas funciones las resultantes de ajustar la serie IDH 1990-2010 al modelo logarítmico.

Gráfico nº 3. ALEMANIA. REGRESIÓN LOGARÍTMICA PARA EL ÍNDICE IDH-PNUD (1990-2140)

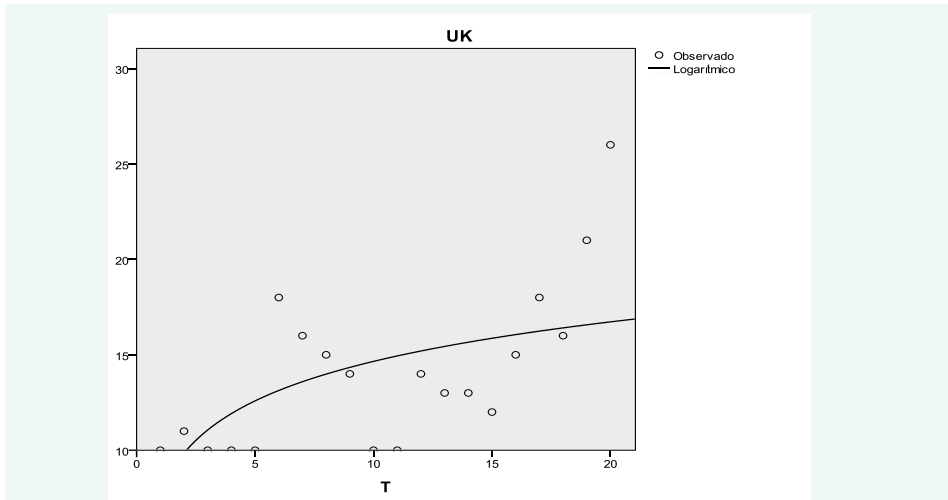


Fuente: Elaboración propia.

Para un período de 100 años con origen en 1990 ($T=0$), Alemania alcanza el estado estacionario en torno a la posición 23 del IDH que se mantiene hasta $T=140$, como muestra el gráfico nº 3.

Por su parte, en el caso del Reino Unido y para el mismo período de un siglo (con $T=0$ en 1990 y $T=100$ en 2090) el estado estacionario se alcanza para la posición 21, que se mantiene hasta $T=120$. Dada la elevada densidad de puntos, el sistema gráfico del *software* utilizado para confeccionar el gráfico nº 4 sólo ha podido registrar la rama de la curva hasta $T=20$, quedando confirmadas las posiciones del IDH, en cualquier caso, mediante la función matemática de ajuste.

Gráfico nº 4. **REINO UNIDO. REGRESIÓN LOGARÍTMICA PARA EL ÍNDICE IDH-PNUD (1990-2140)**



Fuente: Elaboración propia.

En la hipótesis de generalización del modelo anterior de comportamiento para los países del sistema de innovación EU-27, la evolución logarítmica del IDH-PNUD *ceteris paribus* vendría a señalar tres fases para las economías del sistema entre 1990 y 2030. La primera de ellas (1990-2010) sería reflejo de las circunstancias históricas de cada economía, en la segunda (2010-2020) los países de mayor desarrollo relativo comenzarían a entrar en el estado estacionario, mientras que los menos desarrollados continuarían en la fase de desarrollo cuasi lineal del modelo. Finalmente, en torno a 2030, los países europeos más desarrollados habrían alcanzado el estado estacionario, produciéndose entonces la convergencia de las economías más recientemente incorporadas a la Unión Europea.

5. LA INNOVACIÓN EN EUROPA EN EL HORIZONTE DE 2030

Si el indicador del nivel de desarrollo IDH-PNUD de las economías EU-27 es predecible, y retomando la hipótesis en virtud de la cual este nivel de desarrollo se correlaciona positivamente con la capacidad innovadora de la economía correspondiente que refleja el IUS, cabría verificar si tal situación se da en el caso investigado.

El cuadro nº 17 que figura a continuación muestra que la capacidad predictiva⁹ del modelo logarítmico de desarrollo para los 10 países en los que se ajusta al nivel del

⁹ De acuerdo con las hipótesis admitidas en el apartado 4 de este artículo.

1%, en relación con el nivel de innovación (líder, seguidor, moderado o modesto) que refleja en índice IUS-2010 (27 países), es del 37%. Si este porcentaje se calcula para los 5 países que en IUS-2010 aparecen como líderes o seguidores *de líderes* en innovación (sobre un total de 14 países), el porcentaje se mantiene prácticamente estable (36%).

Cuadro nº 17. MODELO LOGARÍTMICO. POSICIÓN INNOVADORA DE LOS PAÍSES EU-27 EN IUS-2010. EVOLUCIÓN 1990-2030 EN EL ÍNDICE DE DESARROLLO HUMANO IDH-PNUD

País	T=40	T=35	T=30	2010	T=20	T=10	1990	2030-1990	Caracterización IUS-2010
Alem	21	20	20	10	19	17	12	9	Líder
Bulg	71	70	68	58	64	56	27	44	Modesto
Din	17	17	17	19	16	15	9	8	Líder
SK	46	45	44	31	42	38	25	21	Moderado
SI	26	27	27	29	29	31	34	-8	Seguidor
Irl	6	7	8	5	10	14	17	-11	Seguidor
Let	61	60	59	48	55	49	26	35	Modesto
Pol	28	29	31	41	36	43	98	-70	Moderado
Port	26	27	28	40	29	32	36	-10	Moderado
UK	19	18	15	26	17	15	10	9	Seguidor

Fuente: Elaboración propia.

Como puede apreciarse en este mismo cuadro, el rango de posiciones entre la real alcanzada en 1990 y la estimada por el modelo para 2030 (T=40) de los países innovadores moderados y modestos, también refleja el avance que habrán de experimentar a partir de sus condiciones de partida. Este potencial de avance para los líderes europeos de innovación (Alemania y Dinamarca) y sus inmediatos seguidores (Eslovenia, Irlanda y Reino Unido) es mucho más reducido, lo que sirve para contrastar también aquí el cumplimiento de la ley de los rendimientos decrecientes aplicada al desarrollo económico.

En tres casos (Irlanda, Polonia y Portugal) la función de ajuste logarítmica manifiesta que su potencial de desarrollo sería mucho más limitado que en los restantes casos pues, ya en 2010, habrían alcanzado el estado estacionario a que da lugar su respectiva serie temporal del índice IDH-PNUD.

6. CONCLUSIONES

De forma alternativa a la explicación tradicional del fenómeno de la innovación como resultado del funcionamiento de sistemas deterministas periódicos (las oleadas periódicas de revoluciones industriales y tecnológicas), el presente estudio ha explorado las posibilidades que ofrecen para tal fin los modelos dinámicos aperiódicos, por contraposición a los sistemas aleatorios y caóticos puros, y aquéllos otros en los que no es posible conocer de forma simultánea la posición de las variables en un momento del tiempo (sistemas indeterminados).

A partir de la serie de datos 1990-2010 del Índice de Desarrollo Humano del PNUD se ha modelizado el comportamiento del nivel de desarrollo de las economías de EU-27, en la hipótesis de que tal nivel de desarrollo debería tener cierta capacidad explicativa sobre el nivel de innovación alcanzado por esas mismas economías en 2010, representado por el Índice de Innovación de la Unión (*Innovation Union Scoreboard-IUS*) correspondiente a 2010.

La modelización caótico-determinista de la serie IDH-PNUD 1990-2010 se ha contrastado a partir de sus características de aperiodicidad, predecibilidad y dependencia sensible de las condiciones iniciales. La solución estable que ha mostrado mayor bondad de ajuste (al nivel del 1%) para el 37% de las economías líderes o seguidoras de las líderes en EU-27 (Alemania, Dinamarca, Reino Unido, Irlanda y Eslovenia) ha sido el modelo logarítmico: $R = a + b * \ln(T)$, en el que la variable endógena o dependiente (R) es la posición ordinal de cada economía de EU-27 en el índice IDH-PNUD y el regresor (T) o variable exógena la variable tiempo, expresada en años. En el dominio de atracción que supone la función anterior, su ordenada en el origen (coeficiente «a») expresa las condiciones iniciales del sistema, asimilables a las condiciones estructurales de partida de cada economía. Por su parte, la pendiente del regresor (coeficiente «b») expresa el grado de incidencia que tiene el tiempo como variable exógena sobre la variable endógena.

El modelo utilizado ha servido para contrastar la posición innovadora del Reino Unido y Alemania en 2010, en cuanto son economías prototipo de los modelos anglosajón y continental, utilizados habitualmente como paradigmas explicativos del fenómeno innovador. Por contraposición, en el modelo continental (representado por Alemania) el valor del coeficiente «a» resulta ser un 35,3% mayor¹⁰ que su equivalente en el modelo anglosajón (representado por el Reino Unido), lo que estaría indicando la mayor importancia comparativa que tiene en el modelo continental la estructura económica de partida para generar innovación y bienestar humano. Por su parte, el valor del coeficiente «b» (representativo de la progresión temporal del índice de desarrollo del PNUD explicativa del nivel de innovación alcanzado en el

¹⁰ Alemania 10,53; Reino Unido 7,78.

IUS-2010), señalaría la mayor velocidad del modelo anglosajón sobre el continental para generar innovación y progreso humano, al ser un 9,5% mayor¹¹.

En el horizonte de 2030, la aperiodicidad del sistema europeo de desarrollo con arreglo al índice IDH-PNUD no permite asegurar que las pautas de crecimiento seguidas por las distintas economías hasta 2010 vayan a repetirse. Por el contrario, el modelo de ajuste predice la aparición de un estado estacionario para el nivel de desarrollo de las economías europeas más prósperas, cuyos efectos comenzarían a sentirse en el transcurso de la década 2030-2040.

La inelasticidad del sistema EU-27 de crecimiento-innovación ha quedado confirmada en el modelo por el amplio período de tiempo (150 años) para el que se mantiene la posición de desarrollo alcanzada por las economías innovadoras estudiadas, particularmente las de Alemania y el Reino Unido.

Una reflexión final nos lleva a plantear la aportación que la teoría y métodos del caos determinista pueden hacer a la investigación económica y financiera. En el terreno de la teoría, el estudio de los fenómenos económicos sometidos a la teoría del caos nos permite considerarla como una ampliación o profundización de la teoría de sistemas aplicada a la economía. Como hemos puesto de manifiesto en el gráfico nº 1, los sistemas dinámicos son clasificables por su estabilidad y predecibilidad y, estas dos características, con frecuencia son identificables en el estudio de las economías y sistemas financieros si se los conceptualiza como tales; tanto desde el paradigma neoclásico, como desde el keynesiano.

También, todavía en el terreno de la teoría, el estudio de las estructuras fractales que caracterizan los sistemas deterministas caóticos puros abre un campo de posibilidades para estudiar y clasificar las recurrencias y hechos estilizados que tantas veces utilizan la economía y las finanzas para modelizar los fenómenos que investigan. Por ejemplo, y a partir del concepto de autosimilaridad¹² por el que estructuras que aparecen en la naturaleza se muestran estadísticamente similares para distintas escalas, su aplicación en economía y finanzas podría ayudar a comprender mejor la conexión entre los fenómenos macro y micro o por qué fenómenos característicos de uno u otro nivel no suceden (o lo hacen más difícilmente) en el otro; en lo que aquí llamamos «autosimilaridad de ámbito o de nivel económico». Si este mismo concepto se traslada al estudio de las magnitudes económicas o a la investigación de fenómenos modelizables a partir de series temporales, en lo que denominamos «autosimilaridad económica cronológica», se podría definir quizá un marco teórico común más amplio en el que encuadrar su estudio, junto al de fenómenos abordables desde la cliometría que, acuñada por Hughes y Reiter entre 1960-70, fue puesta al día por Fogel y North veinte años después.

¹¹ Reino Unido 2,98; Alemania 2,72.

¹² Vid. Alvarellos *et al.* (2004), pp. 87-88.

Por lo que se refiere a las aportaciones de método que la teoría del caos puede hacer al estudio de los fenómenos económico-financieros, y en una primera aproximación, es evidente que su alta formalización lógica y matemática abre nuevas posibilidades en el terreno de la modelización espacio-temporal de los fenómenos investigados y para formular predicciones complementarias o alternativas a las que nos permiten los métodos estadísticos y econométricos utilizados en la actualidad. De nuevo, el cuadro nº 2, nos sirve para ilustrar ámbitos de modelización que pueden añadir, y en cualquier caso enriquecer, el alcance y profundidad de los métodos analíticos que usamos convencionalmente.

La contribución de los modelos caóticos dinámicos deterministas para explicar el comportamiento innovador en ámbitos espacio-temporales concretos, ha sido insuficientemente utilizada hasta el momento por la comunidad investigadora. Sin embargo, la disponibilidad creciente de índices sintéticos con representatividad estadística contrastada, junto con la cada vez mayor longitud de las series, permite reinterpretar el fenómeno innovador en relación con las leyes del caos determinista a partir de las posibilidades de modelización que ofrecen, como queda expuesto en este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCAIDE, A.-ARENALES, C. (1991): *Estadística (Introducción)*. Tema 13, pp. 349-374. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED).
- ALFONSO, J. (1999): «Desarrollo económico: marco evolutivo e institucional». *Ekonomiaz* nº 43, 232-250.
- ALVARELLOS et al (2004): *Introducción al caos*. Programa de enseñanza abierta. UNED.
- ARTHUR, B. (1994): *Increasing returns and path dependence in the economy*. Ann Arbor: University Michigan Press.
- BALLESTERO, E. (1986): *Los principios de la economía liberal. Un estudio en torno a Jean Baptiste Say*. Alianza Editorial, 110-113.
- BAS, E., GUILLÓ, M. (2011): «Prospectiva y cultura de innovación». *Ekonomiaz* nº 76, 18-37.
- BENGT-ÅKE, L. (2010): *National systems of innovation: toward a theory of innovation and interactive learning*. Anthem Press.
- BLAZSEK, S.-ESCRIBANO, A. (2010): «Knowledge spillovers in U.S. patents: a dynamic patent intensity model with secret common innovation factors». *Journal of Econometrics*. Vol. 159, nº 1, 14-32.
- CAMAGNI, R. (1991): *Uncertainly and innovation networks: towards a new dynamic theory of economic space, innovation networks: spatial perspectives*. Belhaven Press.
- COMISIÓN EUROPEA (2010): *An integrated industrial policy for the globalization era. Putting competitiveness and sustainability at centre stage*. Comunicación de la Comisión COM (2010) 614.
- DOSI, G. (1982): «Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change». *Research Policy*, Elsevier.
- DOSI, G., ORSENIGO, F. (1988): «Innovation, diversity and diffusion». *The Economic Journal*.
- CHENG, YT.-VAN de VEN, A. (1996): «Learning the innovation journey: order or chaos?» *Organization Science*. Vol 7, nº 6.
- FRIGANT, V. -TALBUT, D. (2005): «Technological determinism and modularity: lessons from a comparison between aircraft and autoindustries in Europe». *Industry and Innovation*, Vol 12, number 3, 01 Sep. 2005, 337-355.

- GLEIK, J. (1998): *Chaos: the amazing science of the unpredictable*. Vintage.
- HREBINICK, L.-JOYCE, W. (1985): «Organizational adaptation: strategic choice and environmental determinism». *Administrative Science Quarterly*, 30 (1985), 336-349.
- IBARRA, J. (2003): «Economía caótica ¿hacia un nuevo paradigma?». *Entorno económico*, Vol XLI, nº 247.
- INNOMETRICS (2011): *Innovation Union Scoreboard 2010. The innovation Union's performance scoreboard for research and innovation*.
- KALECKI, M. (1956): *Teoría de la dinámica económica*. FCE.
- MALERBA, F. (2002): «Sectoral systems of innovation and production». *Research Policy*, Elsevier.
- MARAVALL, D. (1966): *Física matemática*, 270-275. Dossat.
- MOLERO, J. (1990): «Economía e innovación: hacia una teoría estructural del cambio técnico». *Economía Industrial*, nº 275, 39-54.
- MORSE, D., WARNER, A. (1966): *Technological innovation and society*. Columbia University Press.
- NAVARRO ARANCEGUI, M. (2009): «Los sistemas regionales de innovación. Una revisión crítica». *Ekonomiaz* nº 70, 24-59.
- NAVARRO CID, J. (2000): «Gestión de organizaciones. Gestión del caos». *Dirección y Organización* nº 23, 137-145.
- ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO (OCDE) (2006): *Manual de Oslo*. 3ª edición.
- ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO (OCDE) (2010): *Ministerial report on the OECD innovation strategy: Fostering innovation to strengthen growth and address global and social challenges-key findings*. Documento C/MIN (2010)4.
- ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO (OCDE) (2011): *Measuring Innovation: A new perspective*.
- PAVITT, K. (1984): «Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and theory». *Research Policy*, Elsevier.
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD). *Índice de desarrollo humano*. Serie 1990-2010.
- PULIDO, A. (1993): *Modelos econométricos*, 88-93. Pirámide.
- QUINN, J. (1985): «Managing Innovation: Controlled Chaos». *Harvard Business Review*, Vol. 63, Issue 3, 73-84.
- TALEB, N. (2007): *Foiled by randomness: the hidden role of chance in life and in the markets*. Penguin Books.
- VEBLEN, T. (1899): *Teoría de la clase ociosa*, 35. FCE.