

Modelo de predicción del cambio incremental dentro del ciclo de vida tecnológico

Juan Andres Niño Peñalosa
Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia
juan.ninop@upb.edu.co / juanandresnp@gmail.com

Palabras clave: Trayectorias tecnológicas, sistemas socio tecnológicos, ciclo de vida, cambio tecnológico, predicción

Resumen:

El presente proyecto aborda la predicción del cambio tecnológico incremental mediante la incorporación del sistema sociotécnico que la afecta y la modelación de sus probabilidades de trayectoria asociadas tanto a su posición dentro de su propio ciclo de vida, como a las relaciones multidimensionales históricas que la afectan. El comportamiento de la evolución tecnológica se puede describir mediante una gráfica sigmoideal, que se puede observar como una curva en S, donde todo cambio incremental aporta a la expansión de la frontera tecnológica, pero solamente los cambios exitosos constituyen la tecnología dominante, la cual se ve reflejada en la pendiente y estado de la curva del ciclo de vida de la tecnología. Para lograr una predicción ajustada a la realidad se propone un modelo de dos etapas de cálculo, la primera etapa del modelo es la identificación de la fase en que se encuentra la tecnología dentro de su propio ciclo de vida, lo cual se plantea desde la caracterización de comportamientos y la segmentación de la curva. La segunda etapa toma como insumo a la anterior y propone un modelo de predicción de la trayectoria tecnológica, usando estadística aplicada. El resultado es una predicción de la trayectoria tecnológica del siguiente cambio incremental basado en su propia fase del ciclo de vida, su comportamiento histórico y el sistema sociotécnico circundante.

Abstract:

This project addresses the prediction of incremental technological change by incorporating the sociotechnical system that affects it and modeling their trajectory probabilities associated with both their position within their own life cycle, such as the historical multidimensional relationships that affect it. The behavior of technological evolution can be described by a sigmoidal graph, which can be observed as an S-curve, where any incremental change contributes to the expansion of the technological frontier, but only successful changes constitute the dominant technology, which is reflected in the slope and state of the technology lifecycle curve. To achieve a prediction adjusted to reality, a two-stage model of calculation is proposed, the first stage of the model is the identification of the phase in which the technology is located within its own life cycle, which arises from characterizing behaviors and segmenting the curve. The second stage takes as input to the previous one and proposes a model of prediction of the technological trajectory, using applied statistics. The result is a prediction of the technological trajectory of the next incremental change based on its own lifecycle phase, its historical behavior and the surrounding sociotechnical system.

1. Introducción.

Las tecnologías nos rodean y hacen parte de la cotidianidad hasta el punto de tomarlas como universales, pero a su vez son múltiples y cambiantes, de tal forma que la tecnología es entendida de diversas formas, encontrando observaciones sobre la definición de tecnología que van desde conceptos intelectualistas, utilitaristas e instrumentalistas, hasta llegar a ser presentada como un sinónimo de ciencia (Veraszto et al., 2009) , teniendo en común que siempre se establece como una definición en construcción, por otra parte, el tesoro de la UNESCO presenta la tecnología como “Competencia, conocimiento, equipamiento y procedimientos para asegurar la producción de bienes y servicios”, reiterando de esta forma que la tecnología obedece a un sistema socio técnico (Fuenfschilling & Truffer, 2014).

En este sentido la tecnología no es una sola, ni es estática, por el contrario evoluciona constantemente y la frontera tecnológica, es la suma de los alcances de diversas tecnologías y se extiende como capacidad humana (Geels & Schot, 2007), pudiendo tomar forma de herramienta, técnica, proceso, equipo o método, siendo cada una diferente en capacidad y uso.

Tomado de la misma forma que la biología y la teoría evolucionista de las especies planteada por Charles Darwin (1859), se entiende que la tecnología también evoluciona y con ella también evolucionan los artefactos como expresión material del conocimiento, los métodos y, en general, cualquier manifestación de tecnología (Kaplan & Tripsas, 2008), por lo cual es necesario dejar claro que este documento versa sobre las tecnologías no sobre los artefactos, aunque sean estos uno de sus resultados visibles.

Es así como, la metáfora de la selección natural propuesta por Nelson y Winter (1982) va más allá de las características del entorno. Ellos proponen el cambio continuo -incremental- como un proceso de evolución tecnológica que requiere para su comprensión de la incorporación de la diversidad, la incertidumbre y la interrelación como una visión compleja pero realista del cambio tecnológico. En la misma línea el profesor Giovanni Dosi (1982), aporta desde la economía evolutiva la relación de la innovación y los empresarios, con la dinámica del mercado y las señales que éste aporta para la definición de la ruta del cambio tecnológico. Sus documentos seminales son abordados por otros autores como fuente de soporte de sus planteamientos sobre evolución y cambio tecnológico (Pavitt, 1984) (Christensen y Bower 1996) (Bergek et al., 2008) (Adner & Kapoor, 2010) (Geels, 2004).

Este documento toma el cambio incremental como un proceso evolutivo de la tecnología y presenta una aproximación a su entendimiento teórico y práctico al incorporar el ciclo de vida de la tecnología y los factores del sistema sociotécnico que la afectan como componentes del cambio, incluyendo en esta diversas fuentes de datos, que posibilitan una comprensión holística del entorno del cambio tecnológico y haciendo uso de modelos estadísticos para predecir su comportamiento.

2. Teoría.

El concepto de tecnología ha cambiado con el paso del tiempo, presentando el mismo comportamiento de las propias tecnologías, con vertientes, usos técnicos y coloquiales (Taylor & Taylor, 2012). En el presente documento se toma como concepto de tecnología “la que puede entenderse, como el conjunto de conocimientos, experiencias y relaciones que sustentan el

desarrollo, producción y distribución de productos y el desarrollo e implementación de procesos de transformación de materia e información” (Robledo, J, 2013).

Es Freeman et al. (1982) el principal exponente de la relación entre cambio tecnológico y el ciclo económico. Tomando como base la teoría de Schumpeter, Freeman establece desde la Universidad de Sussex un estudio de las conexiones entre los ciclos de onda larga, el desempleo y el desarrollo tecnológico, logrando un modelo de cambio tecnológico y la métrica asociada (Freeman, 1994) (Freeman, 2007).

Las teorías de evolución tecnológica toman fuerza a finales de la década del setenta y principios de la década del ochenta con principales exponentes como Dosi, Freeman, Pavitt, Nelson o Winter y continúan en la siguiente década con Geels, Verspagen o Pérez, todos con una misma base teórica en Schumpeter, aunque no siempre expresada abiertamente. Es Schumpeter quien da la línea base para desarrollos posteriores, como el planteamiento de paradigmas tecno-económicos de Carlota Pérez (2009) al definir un nuevo modelo de prácticas innovadoras normales (Pérez, 2012).

Aunque todos los planteamientos son válidos y aportan a la discusión, los conceptos de evolución tomados para este documento son los de Dosi, en avances científicos, factores económicos y variables institucionales, las cuales se agrupan en el concepto de sistema sociotécnico que se presenta adelante.

Volcando la mirada sobre la fuente original, los cambios tecnológicos planteados por Schumpeter, consisten en cualquiera de estos cinco fenómenos independientes, aunque estos pueden coexistir solo se requiere de uno para detonar el cambio: (1) introducción de un nuevo bien; (2) introducción de un nuevo método de producción; (3) apertura de un nuevo mercado; (4)

conquista de una nueva fuente de suministro de materias primas o productos semi manufacturados; y (5) implementación de una nueva forma de organización (Schumpeter, 1935) (Schumpeter, 1939), siendo esta la base sobre la que se edifica la teoría de cambio tecnológico evolutivo.

Las siguientes características/atributos planteadas por Rogers (1983), que permiten observar la innovación y su proceso de adopción, complementan los cinco fenómenos de la innovación de Schumpeter:

- Ventaja relativa - la innovación es técnicamente superior (en términos de costes, funcionalidad, imagen, etc.) a la tecnología que sustituye.
- Compatibilidad - la innovación es compatible con los valores existentes, habilidades y prácticas de trabajo de los posibles adoptantes.
- Complejidad – la innovación es relativamente fácil de entender y utilizar.
- Posibilidad de prueba (*trialability*)- la innovación se puede experimentar a modo de prueba sin un esfuerzo y gastos excesivos; se puede implementar de forma incremental y aun así proporcionar un beneficio neto positivo.
- Observabilidad - los resultados y beneficios de la utilización de la innovación pueden observarse fácilmente y se pueden comunicar a los demás.

El reconocimiento de Schumpeter como el autor seminal se evidencia en múltiples publicaciones. Dentro de los aportes más relevantes se encuentran el de Godin (2008) quien incorpora y reconoce a W. Rupert Maclaurin como el autor que desarrolla los postulados de Schumpeter (Maclaurin, 1950) (Maclaurin, 1953) (Maclaurin, 1954). El autor argumenta que la innovación se compone de varias etapas y que los factores económicos son los responsables de la tasa de progreso tecnológico, trazando de esta forma el primer modelo lineal de innovación y cambio tecnológico.

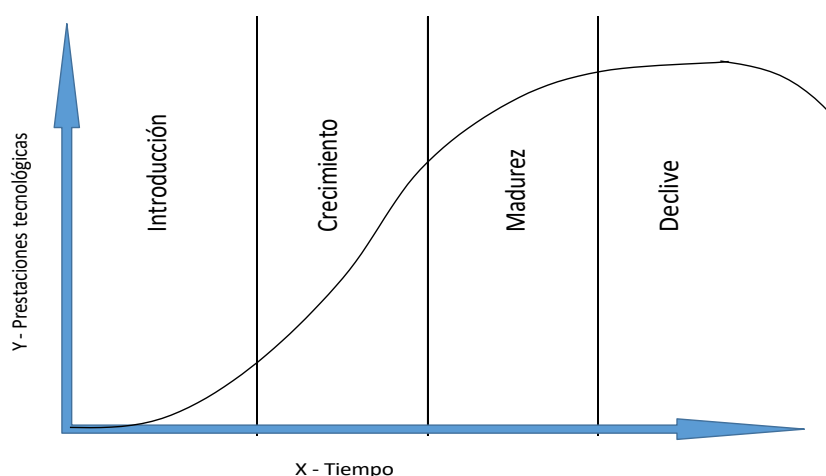
Para Schumpeter el tamaño de la firma y la estructura del mercado determinan la innovación, lo que Ahuja et al. (2008) adicionan indicando que son muchos más los componentes que afectan la innovación. Los mismos autores reconocen que existe innovación radical e incremental por lo cual se requiere un modelo teórico más amplio que el planteado en 1935 por Schumpeter para entender su dinámica. En respuesta, los modelos neo-Schumpeterianos incluyen análisis de relaciones sociales, económicas y políticas, como una construcción del medio ambiente de innovación (Windrum & Garcia-Goni, 2008), al incluir en los procesos de innovación la evolución de la demanda de los usuarios.

En el mismo sentido, se plantea que la innovación y el cambio es transversal a todas las disciplinas y tecnologías (Block et al., 2017) y se deben incluir todas las contribuciones, en especial las sociales, por lo que deben evaluarse desde el conjunto de factores sociotécnicos que permiten a la tecnología desarrollarse, implementarse, mantenerse correctamente (de acuerdo con las necesidades de todas las partes interesadas), atraer a los consumidores a largo plazo y crear una salida positiva o resultado de acuerdo con el propósito de la tecnología y las intenciones iniciales de sus desarrolladores (financieros, sociales, etc.) (Aizstrauta et al., 2015).

La diagramación del cambio evolutivo de la tecnología se logra durante las décadas del 1960 y 1970. Son Everett Rogers y Frank Bass, (Rogers, 1976) (Bass, 1969) quienes presentan esta evolución como una curva sigmoideal, función logística, curva de Verhulst o también llamada curva en S, la que se puede observar en la Figura 1. Esta curva es una representación de dos dimensiones, en el eje de las abscisas (X) se ubica el tiempo y en el eje de las ordenadas (Y) una prestación tecnológica, siendo posible presentar en las ordenadas, ventas, usuarios, capacidades, prestaciones o cualquier otro atributo.

Este método de exposición de la evolución tecnológica también se puede usar para la evolución de productos, y es desde este uso, que importa la caracterización de cuatro etapas en la curva: introducción, crecimiento, madurez y declive, según lo planteo Theodore Levitt (1965), la cual se toma como base en este documento, aunque se encuentran referencias anteriores (Rink & Swan, 1979), que manifiestan que en 1950 y 1951 Joel Dean lo planteo (Dean, 1950), pero sin incluir una representación gráfica, solo una exposición de momentos de un producto en el mercado.

Figura 1 Curva sigmoideal con cuatro etapas del ciclo de vida tecnológico.



Fuente: Adaptado de “Exploit the Product Life Cycle” por T. Levitt, 1965, Graduate School of Business Administration, Harvard University. Vol(43)

En general, una curva en S sirve para presentar la evolución en el tiempo de una variable, siendo usada para diversas explicaciones como el ciclo de vida o las prestaciones tecnológicas. Específicamente en el modelo de adopción tecnológica de Bass se usa en la identificación de cinco momentos de adopción: (1) Los innovadores; (2) adoptantes tempranos; (3) mayoría temprana; (4) mayoría tardía; y (5) rezagados. (Bass, 2004). La conjunción de los modelos de Bass y de Levitt, constituye la base del uso de la curva sigmoideal para el análisis evolutivo. Taylor & Taylor (2012) presentan las etapas de Levitt indicando que se adaptan al contexto específico en que se desarrolla

la tecnología, dicha adaptación responde a la inclinación de la curva siempre manteniendo los cuatro momentos expuestos por Levitt (Nieto et al., 1998).

La comprensión de la evolución tecnología desde el análisis de curvas sigmoidales avanza en 1992 con dos artículos (Christensen, 1992a) (Christensen, 1992b), en donde se analiza la evolución de los elementos componentes de la tecnología y sus resultados. En 2005 Sood y Tellis (2005) aportan que la evolución tecnológica varía entre productos, viniendo de una tecnología antigua y creciendo hasta superar la tecnología actual, posibilitando la aparición de múltiples curvas en S. El termino progresión tecnológica se incluye en el debate mediante la diferencia entre producto, industria y tecnología, cada uno con su propio ciclo de vida que comparte etapas comunes que se entrecruzan (Aizstrauta et al., 2015).

La forma en que la teoría evolucionista del cambio tecnológico se une con el uso de las curvas sigmoidales como representación bidimensional, logra que la interpretación de los ciclos de vida tecnológico y del producto, puedan ser analizados con mirada retrospectiva y también abre la puerta a la prospectiva, entendiéndola como un sistema, diferenciando los cambios incrementales y los diseños dominantes (Huenteler et al., 2016) (Hekkert et al., 2007).

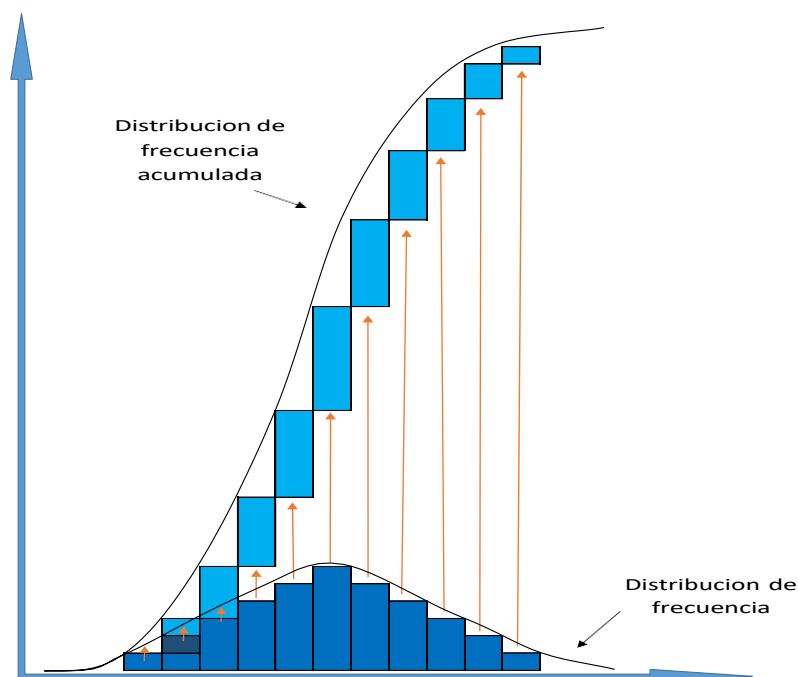
Profundizando en la etapa de cambio incremental, se evidencia un rezago en los incrementos tecnológicos, ya que las empresas mantienen la atención en los componentes clave aún después de que una tecnología dominante se imponga (Lee & Berente, 2013), dando pie al uso de desarrollos acumulativos o cambios incrementales como una buena medida de predicción, para el cambio tecnológico (Huenteler, Schmidt, Ossenbrink, & Hoffmann, 2016).

La teoría de cambio tecnológico de Schumpeter ha sido evaluada usando patentes para medir la evolución tecnológica, encontrado una contradicción con los ciclos de Kondratieff,

(Korotayev et al., 2011), se evidenció que existe un rezago en la función del ciclo que propusieron Kondratieff y Schumpeter, pues la mayor cantidad de invenciones (patentes) se producen en la época de recesión y no se ven aprovechadas hasta la recuperación y bonanza. La evidencia presentada por Korotayev demuestra que la reducción de patentes en la bonanza se debe a que los cambios son abruptos y no incrementales como en la recesión.

La presentación de la curva sigmoideal tiene una estrecha relación con la distribución normal, dado que la sigmoideal es una acumulación de las frecuencias de la otra, como se puede observar en la Figura 2, la curva normal, se traslada a una curva en S con solo acumular sus frecuencias.

Figura 2 Relación entre distribución normal y curva sigmoideal.



Fuente: Adaptado de “Manual de farmacología y terapéutica” por R. Hilal y L. Brunton, 2009, McGraw Hill.

El ciclo de vida del producto, *Product Life Cycle* (PLC), y el ciclo de vida de la tecnología, *Technology Life Cycle* (TLC), son conceptos diferentes, aunque ambos son usados para análisis macro de la evolución de la tecnología al incluir entre ellos una relación causal (Anderson & Tushman, 1990), estando relacionados con la curva S (Foster, 1985), donde la progresión tecnológica se produce dentro de y entre las entidades del TLC (Taylor & Taylor, 2012).

Foster presenta una explicación del comportamiento de las curvas S definiéndolas como “historias gráficas de los esfuerzos humanos para resolver problemas” (Foster, 1985). El ciclo de vida de una tecnología es un proceso gradual y se produce por cambios incrementales dentro de esta (Lee & Berente, 2013), estos cambios incrementales tienen diferentes direcciones, pero solo uno de ellos termina siendo dominante y marcando el nuevo paso del cambio (Freeman et al., 1982). Los cambios incrementales también pueden verse como ciclos de onda corta y la sumatoria de estas ondas cortas, permite la construcción de una onda larga (Korotayev et al., 2011).

El concepto de ciclo de vida es traído de las ciencias naturales, al ubicarlo en el ámbito de la industria, el ciclo de vida se traslada al producto y a la vida de la tecnología. El TLC, es introducido por Arthur D. Little (1981) en el ámbito de la administración de tecnología pero con referencias en el área de producción y estrategia (Utterback & Abernathy, 1975) (Roussel, 1984), el TLC permite medir los cambios tecnológicos evidenciando su evolución en una curva en S con la limitante de observar a la tecnología como elemento separado al no analizar las diferencias de las tecnologías en sí mismas (Aizstrauta et al., 2015).

El manual de Oslo incluye el ciclo de vida de los productos como una variable a tener en cuenta para reducir la incertidumbre de los progresos futuros de la tecnología (OCDE, 2018). En esta vía se han usado las patentes para analizar el TLC (Haupt et al., 2007) con resultados positivos, aunque se encuentran objeciones (Järvenpää et al., 2011), al manifestar que este tipo de estudios

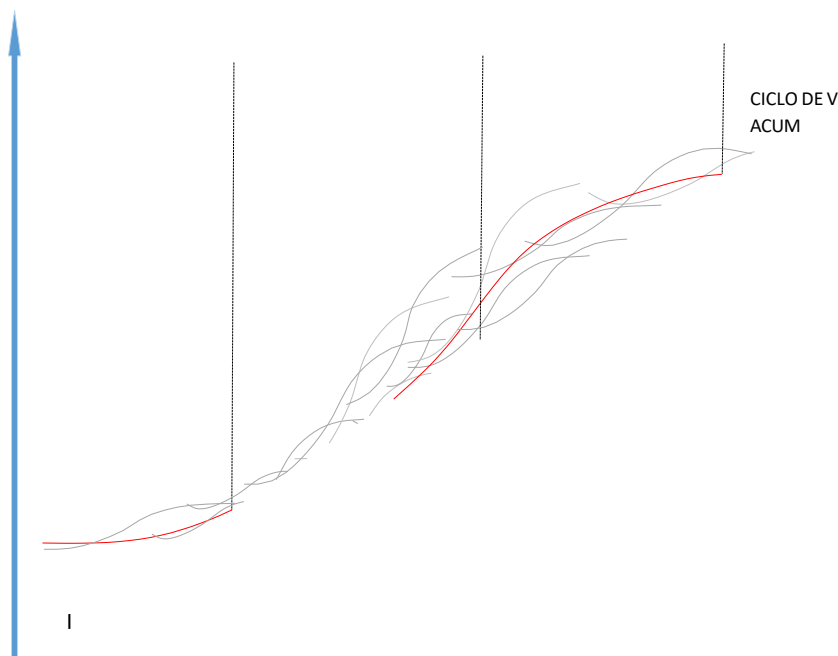
obedece al modelo lineal de innovación y este no es necesariamente el comportamiento real, por lo cual proponen el uso de modelos alternativos para el análisis del TLC.

Ciclo de vida de onda corta: La difusión de sucesivos cambios en una de tecnología y los productos que los reflejan miden su avance en generaciones. Una nueva generación representa una mejora con respecto a las generaciones anteriores, impulsando a los compradores de generaciones anteriores a desplazar su compra hacia la última generación y el mercado se expanda con usos y aplicaciones crecientes a medida que la tecnología mejora (Bass, 2004). Las características del TLC de onda corta son cambios continuos o incrementales medidos en generaciones, que se basan en la generación anterior y agregan nuevas funcionalidades o características a la tecnología sin que esta se modifique profundamente.

Ciclo de vida de onda larga: La sumatoria de los ciclos de onda corta (generaciones) dan como resultado un ciclo de mayor envergadura o ciclo de onda larga que se caracteriza por la discontinuidad de la tecnología o finalización de las innovaciones incrementales para pasar a un cambio tecnológico disruptivo y la generación de un nuevo paradigma tecnológico (Bass, 2004). Este cambio radical de la tecnología no se basa en el paradigma anterior salvo en la finalidad central de la tecnología, pero no en su técnica.

La relación entre los ciclos de onda corta, y cómo estos se transportan a la onda larga, se puede observar en la Figura 3, en donde los ciclos de onda corta (generaciones) inician en la etapa de introducción con pocos cambios, que van aumentando en la etapa de crecimiento hasta la madurez, donde nuevamente la cantidad de cambios incrementales disminuye, hasta el punto en que la tecnología inicia su declive. Esta relación de cuatro partes de los ciclos de onda corta evidenciados como generaciones que se observan de manera agregada en las etapas del ciclo de vida de onda larga es la base para establecer predicciones de comportamiento futuro.

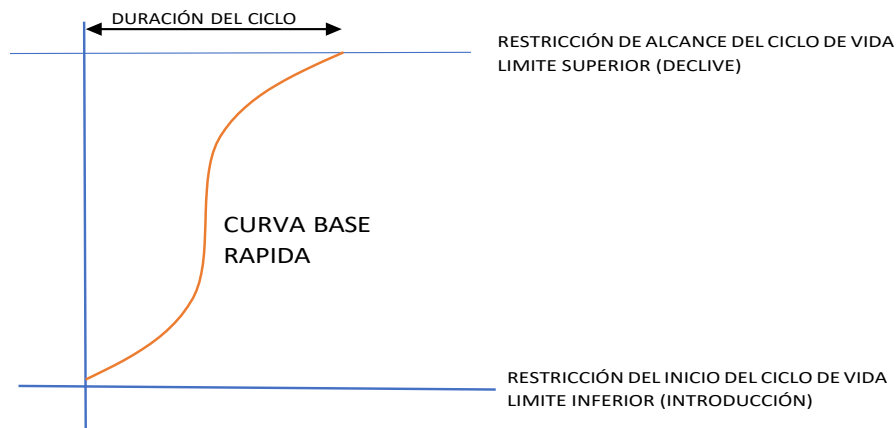
Figura 3 Ciclos de onda corta y onda larga para TLC.



Fuente: Adaptado de “Exploring the limits of the technology s-curve. Part i: component technologies”, por C.M. Christensen, 1992, *Production and Operations Management*, 1. y “Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study”, por F.W. Geels, 2002, *Research Policy*, 31.

Es necesario resaltar que las curvas del ciclo de vida de la tecnología están limitadas por dos restricciones, como se presenta en la Figura 4, la primera es la restricción de inicio, entendida como la aparición de la tecnología (introducción) y la segunda restricción es el alcance del ciclo de vida, entendido como el valor máximo obtenido por esa tecnología a lo largo del tiempo (declive), el periodo de tiempo que se tarda en pasar de un punto al otro, contiene las cuatro fases definidas previamente (introducción, crecimiento, madurez y declive) y dependiendo de la extensión de este, se pueden considerar ciclos de vida rápidos, medios o lentos, sin que se exista una escala específica para catalogarlos y se caractericen por el contraste entre diferentes tecnologías para determinar si una tecnología es más rápida o lenta que otra.

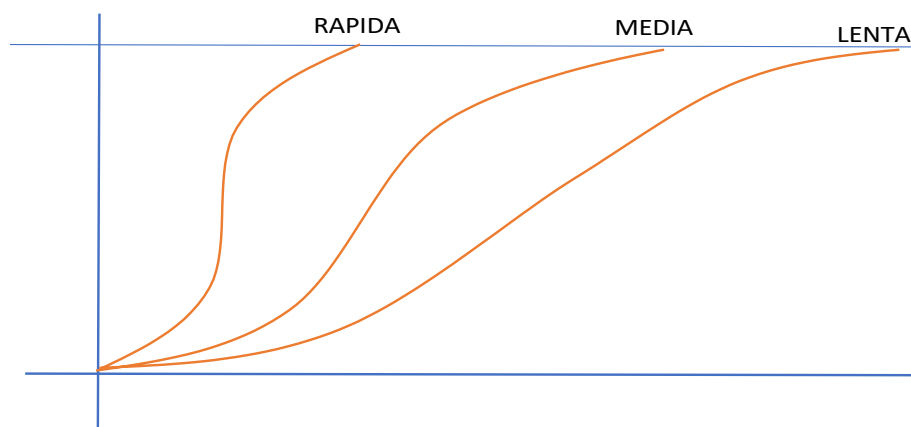
Figura 4 Restricciones en el ciclo de vida de la tecnología.



Fuente: Elaboración propia

Dentro del espacio creado por las restricciones del ciclo de vida tanto desde su inicio hasta su valor en el límite superior, se puede presentar diferentes formas de la curva, representadas a modo de ciclo rápido, de ciclo medio o de ciclo lento, como se observa en la Figura 5. La diferencia entre las curvas radica principalmente en la velocidad en que alcanzan cada una de las etapas en su ciclo de vida.

Figura 5 Diferentes curvas de ciclo de vida dependiendo de su duración.



Fuente: Elaboración propia

El término sistema sociotécnico fue acuñado originalmente (Emery & Trist, 1960) para describir sistemas que implican una interacción compleja entre humanos, máquinas y los aspectos ambientales del sistema de trabajo (Baxter & Sommerville, 2011). En los primeros momentos de la teoría de sistemas socio técnicos se hace poco hincapié en las relaciones humanas, después esta es incorporada como un sistema de valores de derechos y necesidades tan importante como el cambio técnico (Mumford, 2006).

Los sistemas sociotécnicos abiertos tienen cinco características (Badham et al., 2000):

- Los sistemas deben tener partes interdependientes,
- Los sistemas deben adaptarse y perseguir objetivos en entornos externos,
- Los sistemas tienen un entorno interno que comprende subsistemas técnicos y sociales separados pero interdependientes,
- Los sistemas tienen equifinalidad. Los objetivos de los sistemas se pueden lograr por más de un medio. Esto implica que hay opciones de diseño que deben realizarse durante el desarrollo del sistema,
- El rendimiento del sistema se basa en la optimización conjunta de los subsistemas técnico y social. Centrarse en uno de estos sistemas para excluir al otro, es probable que conduzca a un rendimiento y una utilidad del sistema degradados.

Los cambios en el sistema socio técnico los presenta Geels (2005a), como las transiciones que involucran la evolución conjunta de la tecnología y la sociedad. Tomando como ejemplo el suministro de agua muestra 5 combinaciones de co-evolución:

- Co-evolución entre tecnología y usuarios.
- Co-evolución entre tecnología, estructura industrial e instituciones políticas.

- Co-evolución de la ciencia, la tecnología y el mercado.
- Co-evolución de la ciencia y la tecnología.
- Co-evolución de la tecnología y la cultura.

Geels propone que en el nivel meso del sistema socio técnico de cambio, se encuentran cuatro fases:

- En la primera fase, las novedades emergen en nichos en el contexto del régimen existente, todavía no hay un diseño dominante y coexisten varias formas técnicas.
- En la segunda fase, la novedad se utiliza en pequeños nichos de mercado, que proporcionan recursos para la especialización técnica.
- La tercera fase se caracteriza por un avance de la nueva tecnología.
- En la cuarta fase, la nueva tecnología sustituye al antiguo régimen.

En un segundo artículo sobre el tema Geels conceptualiza una vía de transición tecnológica, llamada "desalineación y realineación" reforzando la idea que las dinámicas no son mecánicas y lineales, sino que se producen a través de las interacciones de grupos sociales con diferentes intereses, estrategias y valores (Geels, 2005b).

Una visión similar en la cual la gestión de la transición ayuda a las sociedades a transformarse de manera gradual y reflexiva por medio de procesos guiados de variación y selección, cuyos resultados son escalones para un cambio adicional (Kemp et al., 2007). También entendido como cambio incremental que se puede gestionar "Perspektivischer Inkrementalismus" o incrementalismo dirigido (Grunwald, 2000).

3. Metodología.

La investigación según el tipo de datos a emplear de perfil cuantitativo, con corte longitudinal por la búsqueda del comportamiento evolutivo de las variables en el tiempo, para lo cual se aplica metodología experimental, en la que se diseña una estructura de tratamiento de las variables que puede ser replicada y observada en todos sus pasos, según su objetivo la investigación es de tipo exploratorio, profundizando en la relación estadística de las variables con el planteamiento teórico propuesto y la forma como se pueden explicar y predecir mejor las trayectorias tecnológicas .

Usando como base la teoría de ciclo de vida de la tecnología, el comportamiento de la curva sigmoideal y su relación con los cálculos de la normal, se plantea una identificación de la ubicación de una tecnología dentro de las cuatro etapas mencionadas, como un modelo de *stage-gate* (parada puerta), en la que una tecnología puede determinar en qué etapa de su ciclo de vida se encuentra según sus valores estadísticos. Al crear restricciones de valores en cada etapa, se establecen las puertas en las que una tecnología ubicada en la etapa de madurez solo ha podido llegar allí si ha cumplido con una etapa de introducción y de crecimiento, pero no cumple las condiciones para pasar al declive. El modelo de predicción toma los cambios incrementales (onda corta) para construir un ciclo de vida (onda larga), determinar su posición actual y predecir el siguiente incremento (onda corta).

La ubicación de la etapa del ciclo de vida de la tecnología en la que se encuentra es el elemento clave para el modelo de predicción, puesto que este restringe el cono de posibilidades dependiendo de las características propias de cada etapa. Las características de las etapas están asociadas a los valores obtenidos por diferentes mediciones de las variables del sistema sociotécnico que afecta la tecnología, como se pueden observar en la Tabla 1 se estructuran tres

pilares al sistema sociotécnico aplicables al modelo, que muestran un agrupamiento según las variables que se asocian a cada uno, así:

Tabla 1. Estructura de los pilares del modelo

| Pilares del sistema | Nombre del Pilar | Variables incluidas | Nivel de aplicación |
|---------------------|-----------------------------------|---|--|
| Pilar A | Cambio tecnológico generador | Segmentación y búsqueda de patentes, publicaciones y tendencia de visibilidad | Solo para tecnologías específicas |
| Pilar B | Interés económico del área | Cantidad de empresas en el área, valor de mercado, valor de transacciones y participación en el PIB mundial | Solo para sectores industriales (puede incluir diferentes tecnologías) |
| Pilar C | Condiciones sociales circundantes | Variables sociales, Índice de GINI, población, nivel de escolaridad, conformación etaria, etc. | Útiles para todas las industrias y tecnologías |

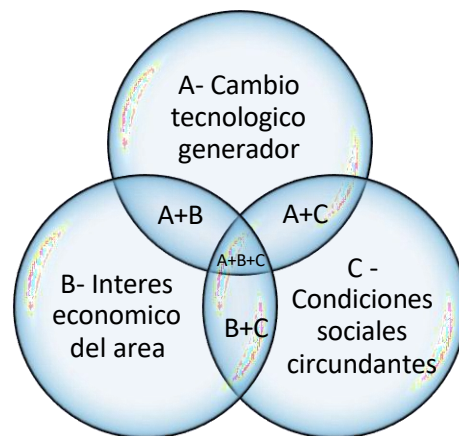
Fuente: Elaboración del autor

La conjugación de los tres pilares establece un área de trabajo fértil para el análisis de los ciclos de vida de la tecnología, como se puede observar en la Figura 6, las uniones de los diferentes pilares posibilitan distintas salidas del sistema. De esta forma la existencia de tendencias positivas en los pilares A y B generan oportunidades distintas, a las generadas por tendencias positivas en los pilares B y C, la estructura de las uniones de pilares con resultados agregados positivos planteada, es la siguiente:

- A+B= Posibilidad de adopción tecnológica – Se cuenta con cambios tecnológicos en el área (*Technology push*) y el interés económico también es positivo, haciendo posible la financiación de la materialización comercial de los cambios, aunque las condiciones sociales no están alineadas, es posible que se presente la innovación en nichos de mercado específicos.

- B+C= Existe un sector industrial con capacidad económica, sumado a las condiciones de mercado y sociales en disposición del cambio, pero sin generación de nuevas tecnologías o están en ciernes, denotando una estructura de cambio motivado por el mercado (*Market pull*).
- A+C= Se generan nuevas tecnologías (*Technology push*), la sociedad está en disposición y condiciones para el cambio, pero se carece de industria financiadora, es posible que el sector económico este estancado, se ubique en una zona de confort en la producción o este saturado.
- A+B+C= sistema socio técnico óptimo para el cambio, se tienen todas las condiciones propicias para la innovación efectiva.

Figura 6 Pilares del sistema sociotécnico.



Fuente: Elaboración del autor.

La determinación de la etapa del ciclo de vida donde se encuentra la tecnología permite la predicción del cambio tecnológico con forma de un cono de posibilidades, la distancia en el periodo de predicción está relacionada directamente con la probabilidad de acierto, con un periodo mayor se aumenta el error y por ende se reduce la probabilidad de acierto.

Tomando como punto de partida la etapa en la cual se encuentra la tecnología y usando la información obtenida previamente, se trazan las posibles trayectorias tecnológicas, el área de posibilidades de la trayectoria se amplía en la medida que el horizonte de predicción se hace más largo, llevando consigo un aumento del nivel de error en la predicción. Por lo cual una selección del tamaño del horizonte de predicción y su relación con el error es fundamental en la búsqueda de una configuración de la trayectoria tecnológica futura que cuente con la suficiente capacidad predictora sin que afecte su fiabilidad.

Para la realización del proyecto se aplican técnicas estadísticas con el fin de establecer el nivel de correlación entre las variables del sistema sociotécnico, usando información de un periodo para predecir el siguiente, como un entrenamiento y corregir la predicción según los resultados reales, se repetirá la predicción en el periodo $T+1$, corrigiendo los resultados obtenidos al comparar nuevamente el $T+1$ real y repetir hasta lograr que en cada iteración el modelo se refine y permita mayor precisión en los resultados.

Establecido todo el conjunto de variables recolectadas se agrupan y calcularán los tres pilares del sistema sociotécnico, según se presentó en la tabla 1 en el nivel de aplicación, el tercer pilar es el más estable y común a todas las tecnologías estudiadas, la mayor variación se espera en el primer pilar, el segundo pilar se esperan pocas variaciones por que la información del interés económico en el área se encuentra agrupada, careciendo de información desagregada por cada tecnología y contando solo con información a nivel de empresas del mismo sector que trabajan y venden tecnologías similares o correlacionadas.

La determinación de la etapa del ciclo de vida se realizará según la pendiente de la curva y las restricciones de cambio entre una y otra etapa, estos puntos críticos y el punto de inflexión de la curva corresponden a desviaciones de la distribución normal.

El modelo permite la toma de decisiones para el cambio planificado y la optimización de los recursos humanos, técnicos y económicos en áreas de interés específico, permitiendo identificar estancamientos tecnológicos o aceleraciones.

4. Resultados preliminares.

Para la determinación de la etapa del ciclo de vida en que se encuentra una tecnología se han explorado diferentes opciones, cada una con bondades y dificultades específicas, las técnicas exploradas son:

Distribución normal: La curva en S es la acumulada de los datos en un periodo de tiempo, si el comportamiento de los datos obedece a una distribución normal, se pueden usar los mismos principios de la distribución normal, como la media, y las desviaciones estándar, esta configuración aunque exacta en sus valores y sustentada por cálculos estadísticos que la hacen deseable, se aleja de la realidad de los datos analizados, puesto que el comportamiento de estos aunque se asemeja a una distribución normal, no se ajusta perfectamente a esta, dado que se presentan variaciones en la estructura de los datos, generando ordenamientos anormales, con diferentes cúspides y agrupaciones de datos, o sesgos a derecha o izquierda dependiendo de la misma dinámica de la evolución tecnológica.

Segunda derivada: el cálculo de la pendiente de la recta tangente de la curva en un punto, es útil en la identificación del punto de inflexión donde la curva pasa de cóncava a convexa, pero carece de efectividad para hallar todos los puntos críticos de cambio de etapa del ciclo de vida de la tecnología, y requiere de una función operable para tecnología estudiada.

Velocidad de cambio: Altura ganada por la curva en cada intervalo de tiempo, comparado con su predecesor y su sucesor, para obtener su velocidad de cambio este cálculo se realiza longitudinalmente, en periodos amplios de datos las velocidades se ven afectadas por las propias etapas del ciclo de vida y la duración del ciclo de vida como se presento en la figura 5, creando una distorsión en el modelo al tener que calcularse individualmente para cada tecnología analizada.

Cajas de cambio: tomando el intervalo entre el menor valor de la curva y su valor máximo, dividiéndolo en secciones, los cuales establecen umbrales de análisis o cajas de observación, en cada una de estas cajas se calcula la altura ganada y el tiempo invertido en obtenerla, posibilitando una comparación entre cajas, la determinación de la cantidad de cajas necesarias para un análisis concluyente, varía entre tecnologías, debido a la propia evolución tecnológica, sin que se pueda establecer una regla general aplicable.

Pendiente agrupada por tiempo: se establecen grupos quinquenales de datos, actúa de forma similar a las cajas de cambio, pero actuando sobre el eje X, permite calcular velocidades, pero esta restringida a datos continuos, generando a su vez espacios de calculo que no representan fielmente las etapas del ciclo de vida.

Distribución por cuartiles: usando calculo y grafica de Box plot, se obtiene la mediana y los cuartiles de la frecuencia acumulada de la tecnología, permite evidenciar la simetría de la distribución y los valores atípicos, el valor de cada cuartil calculado es transportado a su vecino más próximo, correspondiente a la fecha y valor en que se encuentran los puntos críticos, lo que se puede evidenciar también gráficamente, permitiendo una distinción de las etapas, el método es eficiente para ciclos de vida completos, pero falla en la identificación de etapas para tecnologías aun en proceso incompleto de su ciclo de vida.

La exploración de técnicas aun continua en desarrollo, hasta lograr una que actúe para todo tipo de tecnología, cualquiera sea su máxima etapa del ciclo de vida alcanzada.

Para probar las diferentes técnicas se han analizado 5 tecnologías con ciclo de vida completo, tomando como base de datos patentes de todo el mundo, las que se presentan en la tabla 2, las cuales presentan comportamientos de la curva variados según su duración, corroborando lo presentado anteriormente en la figura 5.

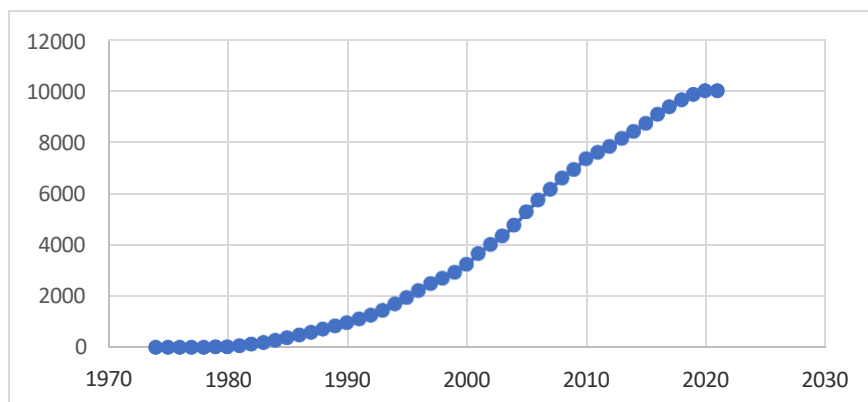
Tabla 2. Tecnologías de prueba usadas

| Tecnología | Fecha de inicio | Fecha fin | Periodo | Patentes |
|---------------------|-----------------|-----------|----------|----------|
| VHS | 1974 | 2020 | 46 años | 10000 |
| Máquina de escribir | 1829 | 2020 | 191 años | 11026 |
| Beeper | 1957 | 2020 | 63 años | 6022 |
| Fax | 1960 | 2020 | 60 años | 9921 |
| Floppy | 1966 | 2020 | 54 años | 6039 |

Fuente: Elaboración del autor

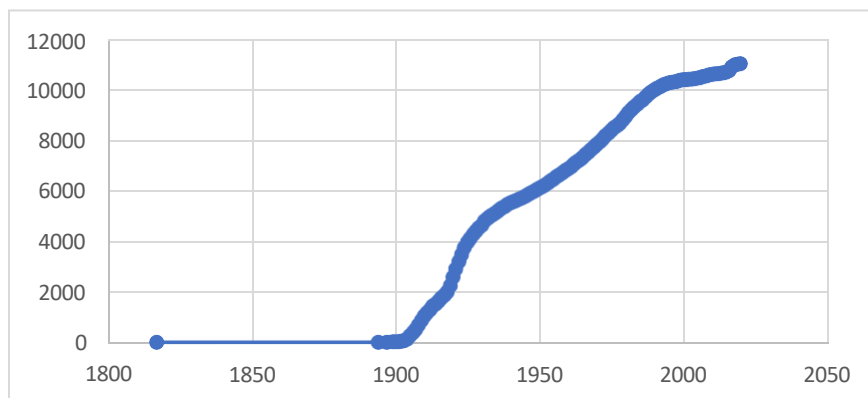
Como se puede observar en las figuras 7, 8, 9, 10 y 11 correspondientes a las tecnologías de prueba, el comportamiento acumulado de las curvas responde a la forma sigmoideal, los horizontes de estudio varían en rangos de los 54 a los 191 años y la cantidad de patentes estudiadas están entre 6022 y 11026 patentes, evidenciando que la relación tiempo y cantidad genera efectos en la curva y por ende en las etapas de su propio ciclo de vida, la velocidad, la inclinación y la posición de sus puntos críticos.

Figura 7 Evolución tecnológica del VHS



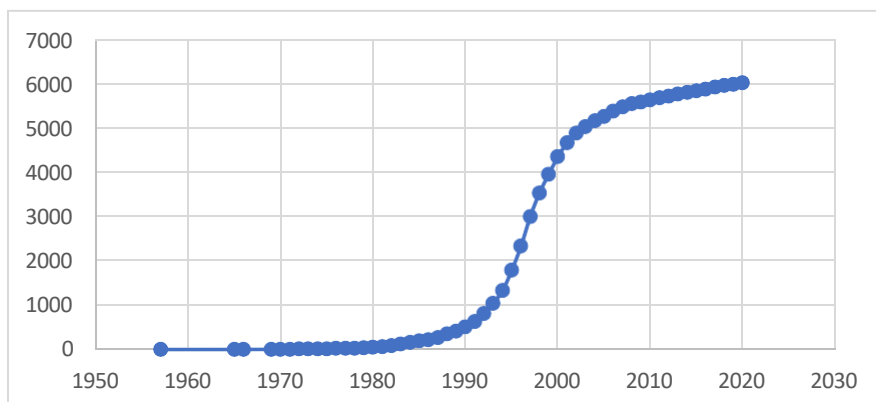
Fuente: Elaboración del autor

Figura 8 Evolución tecnológica de la máquina de escribir



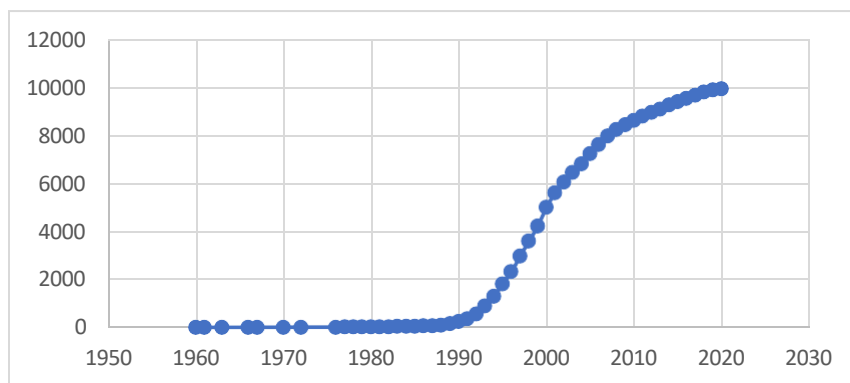
Fuente: Elaboración del autor

Figura 9 Evolución tecnológica del Beeper



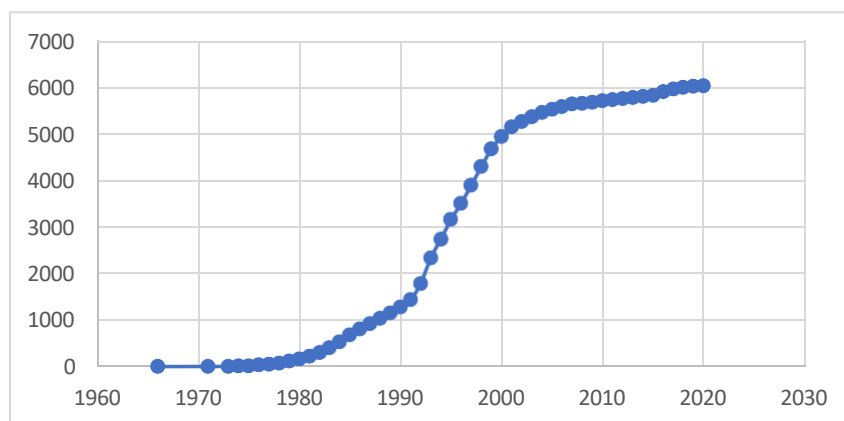
Fuente: Elaboración del autor

Figura 10 Evolución tecnológica del Fax



Fuente: Elaboración del autor

Figura 11 Evolución tecnológica del Floppy



Fuente: Elaboración del autor

Hasta el momento la opción más prometedora es la unión de la segunda deriva y la distribución por cuartiles, lo que ha permitido una identificación del punto de inflexión de la curva que representa el punto de cambio de la etapa de crecimiento a la etapa de madurez y tomando como valor fijo esta inflexión, aplicar distribución por cuartiles, que identifican claramente el punto crítico de cambio entre la etapa de instrucción y crecimiento, pero no necesariamente el punto crítico entre la madurez y el declive, esto entendido por la posibilidad de tecnologías en ciclos de vida incompletos.

Para tecnologías emergentes, se ha determinado que la inexistencia de un punto de inflexión que denote el cambio de la curva de cóncava a convexa, es un buen predictor de la fase en que se encuentra, por lo que es posible usar la opción de velocidad de cambio para identificar su pendiente alcanzada.

El proceso de identificación de la combinación óptima de técnicas, que permita un cálculo acertado de la etapa del ciclo de vida de una tecnología, se encuentra en desarrollo y se están explorando mas opciones sin resultados concluyentes.

5. Referencias.

- Adner, R., & Kapoor, R. (2010). Value creation in innovation ecosystems: How the structure of technological interdependence affects firm performance in new technology generations. *Strategic Management Journal*, 31(3), 306-333. Scopus. <https://doi.org/10.1002/smj.821>
- Ahuja, G., Lampert, C. M., & Tandon, V. (2008). Moving Beyond Schumpeter: Management Research on the Determinants of Technological Innovation. *Academy of Management Annals*, 2, 1-98. <https://doi.org/10.1080/19416520802211446>
- Aizstrauta, D., Ginters, E., & Eroles, M.-A. P. (2015). *Applying theory of diffusion of innovations to evaluate technology acceptance and sustainability*. 43, 69-77. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.12.010>
- Anderson, P., & Tushman, M. L. (1990). Technological Discontinuities and Dominant Designs: A Cyclical Model of Technological Change. *Administrative Science Quarterly*, 35(4), 604-633. JSTOR. <https://doi.org/10.2307/2393511>

- Bass, F. M. (1969). A New Product Growth for Model Consumer Durables. *Management Science*, 15(5), 215-227. JSTOR.
- Bass, F. M. (2004). Comments on “A New Product Growth for Model Consumer Durables The Bass Model”. *Management Science*, 50(12_supplement), 1833-1840.
<https://doi.org/10.1287/mnsc.1040.0300>
- Baxter, G., & Sommerville, I. (2011). Socio-technical systems: From design methods to systems engineering. *Interacting with Computers*, 23(1), 4-17. Scopus.
<https://doi.org/10.1016/j.intcom.2010.07.003>
- Bergek, A., Jacobsson, S., Carlsson, B., Lindmark, S., & Rickne, A. (2008). Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. *Research Policy*, 37(3), 407-429. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.12.003>
- Block, J. H., Fisch, C. O., & van Praag, M. (2017). The Schumpeterian entrepreneur: A review of the empirical evidence on the antecedents, behaviour and consequences of innovative entrepreneurship. *Industry and Innovation*, 24(1), 61-95.
<https://doi.org/10.1080/13662716.2016.1216397>
- Christensen, C. M. (1992a). EXPLORING THE LIMITS OF THE TECHNOLOGY S-CURVE. PART I: COMPONENT TECHNOLOGIES. *Production and Operations Management*, 1(4), 334-357. Scopus. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.1992.tb00001.x>
- Christensen, C. M. (1992b). EXPLORING THE LIMITS OF THE TECHNOLOGY S-CURVE. PART II: ARCHITECTURAL TECHNOLOGIES. *Production and Operations Management*, 1(4), 358-366. Scopus. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.1992.tb00002.x>
- Christensen, C. M., & Bower, J. L. (1996). Customer power, strategic investment, and the failure of leading firms. *Strategic Management Journal*, 17(3), 197-218. Scopus.

- Darwin, C. (1859). *EL ORIGEN DE LAS ESPECIES POR LA SELECCION NATURAL* (2.^a-1963.^a ed.).
https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=pKNNeMliJRwC&oi=fnd&pg=PA5&dq=e+l+origen+de+las+especies&ots=yI0rsOTXo4&sig=pxXy1bdtkvSG8_oUj8cw603sORo#v=onepage&q=el%20origen%20de%20las%20especies&f=false
- Dean, J. (1950). Pricing Policies for New Products. *Harvard Business Review*, November 1976.
<https://hbr.org/1976/11/pricing-policies-for-new-products>
- Dosi, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories. A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*, 11(3), 147-162. Scopus. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(82\)90016-6](https://doi.org/10.1016/0048-7333(82)90016-6)
- Emery, F. E., & Trist, E. L. (1960). Socio-technical Systems. *Management Sciences Models and Techniques*, vol 2.
- Foster, R. N. (1985). Timing technological transitions. *Technology in Society*, 7(2-3), 127-141. Scopus.
- Freeman, C. (1994). The economics of technical change. *Cambridge Journal of Economics*, 18(5), 463-514. Scopus. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.cje.a035286>
- Freeman, C. (2007). A Schumpeterian renaissance? En *Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics* (pp. 130-141). Scopus.
- Freeman, C., Clark, J., & Soete, L. (1982). *Unemployment and Technical Innovation: A study of long waves and economic development*. <http://collections.unu.edu/view/UNU:672>
- Fuenfschilling, L., & Truffer, B. (2014). The structuration of socio-technical regimes—Conceptual foundations from institutional theory. *Research Policy*, 43(4), 772-791. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2013.10.010>

- Geels, F. W. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research Policy*, 33(6-7), 897-920. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2004.01.015>
- Geels, F. W. (2005a). Co-evolution of technology and society: The transition in water supply and personal hygiene in the Netherlands (1850-1930) - A case study in multi-level perspective. *Technology in Society*, 27(3), 363-397. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2005.04.008>
- Geels, F. W. (2005b). The dynamics of transitions in socio-technical systems: A multi-level analysis of the transition pathway from horse-drawn carriages to automobiles (1860-1930). *Technology Analysis and Strategic Management*, 17(4), 445-476. Scopus. <https://doi.org/10.1080/09537320500357319>
- Geels, F. W., & Schot, J. (2007). Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy*, 36(3), 399-417. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.01.003>
- Godin, B. (2008). In the shadow of schumpeter: W. Rupert Maclaurin and the study of technological innovation. *Minerva*, 46(3), 343-360. <https://doi.org/10.1007/s11024-008-9100-4>
- Haupt, R., Kloyer, M., & Lange, M. (2007). Patent indicators for the technology life cycle development. *Research Policy*, 36(3), 387-398. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2006.12.004>
- Hekkert, M. P., Suurs, R. A. A., Negro, S. O., Kuhlmann, S., & Smits, R. E. H. M. (2007). Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(4), 413-432. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2006.03.002>

- Huenteler, J., Schmidt, T. S., Ossenbrink, J., & Hoffmann, V. H. (2016). Technology life-cycles in the energy sector—Technological characteristics and the role of deployment for innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, *104*, 102-121.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.09.022>
- Järvenpää, H. M., Mäkinen, S. J., & Seppänen, M. (2011). Patent and publishing activity sequence over a technology's life cycle. *Technological Forecasting and Social Change*, *78*(2), 283-293. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.06.020>
- Kaplan, S., & Tripsas, M. (2008). Thinking about technology: Applying a cognitive lens to technical change. *Research Policy*, *37*(5), 790-805.
<https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.02.002>
- Kemp, R., Loorbach, D., & Rotmans, J. (2007). Transition management as a model for managing processes of co-evolution towards sustainable development. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, *14*(1), 78-91. Scopus.
<https://doi.org/10.1080/13504500709469709>
- Korotayev, A., Zinkina, J., & Bogevolnov, J. (2011). Kondratieff waves in global invention activity (1900-2008). *Technological Forecasting and Social Change*, *78*(7), 1280-1284.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2011.02.011>
- Lee, J., & Berente, N. (2013). The era of incremental change in the technology innovation life cycle: An analysis of the automotive emission control industry. *Research Policy*, *42*(8), 1469-1481. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2013.05.004>
- Levitt, T. (1965). Exploit the Product Life Cycle. *Graduate School of Business Administration, Harvard University.*, Vol. 43.
http://marketch.cloud/pdf/Exploit_the_Product_Life_Cycle.pdf

Little, A. D. (1981). *The Strategic Management of Technology*. Arthur D. Little.

Maclaurin, W. R. (1950). The Process of Technological Innovation: The Launching of a New Scientific Industry. *The American Economic Review*, 40(1), 90-112. JSTOR.

Maclaurin, W. R. (1953). The sequence from invention to innovation and its relation to economic growth. *Quarterly Journal of Economics*, 67(1), 97-111. Scopus.

<https://doi.org/10.2307/1884150>

Maclaurin, W. R. (1954). Technological Progress in Some American Industries. *The American Economic Review*, 44(2), 178-189. JSTOR.

Mumford, E. (2006). The story of socio-technical design: Reflections on its successes, failures and potential. *Information Systems Journal*, 16(4), 317-342. Scopus.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2575.2006.00221.x>

Nelson, R. R., & Winter, S. G. (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change—Richard R. Nelson, Sidney G. Winter* / Harvard University Press.

<http://www.hup.harvard.edu/catalog.php?isbn=9780674272286>

Nieto, M., López, F., & Cruz, F. (1998). Performance analysis of technology using the S curve model: The case of digital signal processing (DSP) technologies. *Technovation*, 18(6), 439-457. [https://doi.org/10.1016/S0166-4972\(98\)00021-2](https://doi.org/10.1016/S0166-4972(98)00021-2)

OCDE. (2018). *Manual de Oslo*.

Pavitt, K. (1984). Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory.

Research Policy, 13(6), 343-373. Scopus. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(84\)90018-0](https://doi.org/10.1016/0048-7333(84)90018-0)

Pérez. (2009). Technological revolutions and techno-economic paradigms. *Cambridge Journal of Economics*, 34(1), 185-202. Scopus. <https://doi.org/10.1093/cje/bep051>

- Pérez. (2012). Revoluciones tecnológicas y paradigmas tecnoeconómicos. *Tecnología y Construcción*, 21(1), Article 1. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_tc/article/view/2886
- Rink, D. R., & Swan, J. E. (1979). Product life cycle research: A literature review. *Journal of Business Research*, 7(3), 219-242. Scopus. [https://doi.org/10.1016/0148-2963\(79\)90030-4](https://doi.org/10.1016/0148-2963(79)90030-4)
- Robledo, J. (2013). *Introducción a la Gestión de la Tecnología y la Innovación*. Universidad Nacional de Colombia Sede–Medellín.
- Rogers, E. M. (1976). New Product Adoption and Diffusion. *Journal of Consumer Research*, 2(4), 290-301. JSTOR.
- Rogers, E. M. (1983). *Diffusion of innovations* (3rd ed). Free Press ; Collier Macmillan.
- Roussel, P. A. (1984). Technological Maturity Proves a Valid and Important Concept. *Research Management*, 27(1), 29-34. <https://doi.org/10.1080/00345334.1984.11756815>
- Schumpeter, J. A. (1935). *BUSINESS CYCLES. A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*. 385.
- Schumpeter, J. A. (1939). *BUSINESS CYCLES. A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*. (1.^a ed.).
- Sood, A., & Tellis, G. J. (2005). Technological evolution and radical innovation. *Journal of Marketing*, 69(3), 152-168. Scopus. <https://doi.org/10.1509/jmkg.69.3.152.66361>
- Taylor, M., & Taylor, A. (2012). The technology life cycle: Conceptualization and managerial implications. *International Journal of Production Economics*, 140(1), 541-553. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.07.006>
- Utterback, J. M., & Abernathy, W. J. (1975). A dynamic model of process and product innovation. *Omega*, 3(6), 639-656. [https://doi.org/10.1016/0305-0483\(75\)90068-7](https://doi.org/10.1016/0305-0483(75)90068-7)

Veraszto, E. V., Silva, D. da, Miranda, N. A., & Simon, F. O. (2009). Tecnologia: Buscando uma definição para o conceito. *PRISMA.COM*, 0(8), 19-46.

Windrum, P., & Garcia-Goni, M. (2008). A neo-Schumpeterian model of health services innovation. *Research Policy*, 37(4), 649-672. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.12.011>