



Investigación Administrativa

ISSN: 1870-6614

ISSN: 2448-7678

ria@ipn.mx

Instituto Politécnico Nacional

México

Madurez tecnológica e innovación en empresas mexicanas

Olivier Fierro, Juan Óscar; Martínez Ramos, Pedro Javier; Domínguez Alcaraz, Isidro
Madurez tecnológica e innovación en empresas mexicanas

Investigación Administrativa, vol. 50, núm. 128, 2021

Instituto Politécnico Nacional, México

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=456067615009>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.



Madurez tecnológica e innovación en empresas mexicanas

Technological maturity and innovation in Mexican companies

Juan Óscar Ollivier Fierro

*Universidad Autónoma de Chihuahua en la Facultad de
Contaduría y Administración, México
jollivier@uach.mx*

 <https://orcid.org/0000-0002-1773-4428>

Redalyc: [https://www.redalyc.org/articulo.oa?
id=456067615009](https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=456067615009)

Pedro Javier Martínez Ramos

*Universidad Autónoma de Chihuahua en la Facultad de
Ciencias Químicas, México
pmartinr@uach.mx*

 <https://orcid.org/0000-0003-4571-5950>

Isidro Domínguez Alcaraz

*Universidad Autónoma de Chihuahua en la Facultad de
Contaduría y Administración, México
idomingu@uach.mx*

 <https://orcid.org/0000-0003-3343-1221>

Recepción: 04 Octubre 2020

Aprobación: 23 Febrero 2021

RESUMEN:

Dado que la tecnología ocupa un papel de cada vez mayor importancia en las organizaciones, el objetivo del presente estudio fue revisar la escala empleada por el INEGI para medir en México la madurez tecnológica en las empresas, analizar su consistencia y aplicabilidad. El método consistió en hacer una revisión de las escalas nacionales e internacionales para evaluar aspectos relacionados al tema, así como el análisis de la escala empleada en la encuesta nacional sobre investigación y desarrollo tecnológico ESIDET, levantada por dicho instituto en 2017 en empresas. Los resultados muestran algunas inconsistencias en esta escala, como la falta de univocidad, progresividad y universalidad en los seis niveles de la escala, así como hallazgos en la baja correlación entre ellos. La originalidad es la propuesta de conceptos para una nueva escala que pretende corregir estas inconsistencias. La principal limitación consistió en considerar el análisis sólo la encuesta levantada en México.

PALABRAS CLAVE: Madurez tecnológica, Gestión tecnológica, Escalas para medir nivel tecnológico, Encuesta ESIDET del INEGI en empresas mexicanas.

ABSTRACT:

Given that technology occupies an increasingly important role in organizations, the objective of this study was to review the scale used by INEGI to measure technological maturity in companies in Mexico, analyze its consistency and applicability. The method consisted of making a review of the national and international scales to evaluate aspects related to the subject, as well as the analysis of the scale used in the national survey on technological research and development ESIDET, carried out by said institute in 2017 in companies. The results show some inconsistencies in this scale, such as the lack of univocity, progressivity and universality in the six levels of the scale, as well as findings in the low correlation between them. Originality is the proposal of concepts for a new scale that aims to correct these inconsistencies. The main limitation consisted in considering the analysis only the survey conducted in Mexico.

KEYWORDS: Technological maturity, Technology management, Scales to measure technological level, INEGI ESIDET survey on Mexican enterprises.

NOTAS DE AUTOR

jollivier@uach.mx

INTRODUCCIÓN

No cabe duda que, en la época actual entrando a la tercera década del siglo XXI, la tecnología y la innovación ocupan cada vez una mayor importancia en la competitividad de las empresas, al punto en que no sólo pueden determinar su éxito, sino también su supervivencia (Löfsten, 2016; Barreras, Parra, Lopez & Torres, 2015; Acuña & Castillo, 2018; Tera#n, Da#vila & Castan#o#n, 2019; Robledo, 2017)

Se considera de primera importancia el poder medir el avance o el estado de la tecnología en las empresas. Sin embargo, se observa en la literatura que es un concepto en el que no existe un estándar o consenso en alguna escala internacionalmente reconocida para medir el “status” tecnológico a nivel de la empresa (Bastida, 2019), particularmente en el contexto de las encuestas masivas.

El presente estudio analiza la medición del concepto de la *madurez tecnológica de la empresa*, no obstante, es necesario señalar que se estima existe un problema semántico en la conjunción de estos dos conceptos. Se considera que efectivamente una tecnología específica permite hacer su analogía con una entidad viviente que tiene ciclos definidos a lo largo de su vida, como son el desarrollo, madurez y declinación, sin embargo, la tecnología en una empresa se encuentra continuamente cambiando a medida que las tecnologías van evolucionando con el tiempo, particularmente las del ramo (Estrada, Cano & Aguirre, 2019; Malleuve, Robaina & Stuart, 2015)

Desde este punto de vista, se puede ver la empresa desde un enfoque darwiniano, como un ente orgánico que para sobrevivir se tiene que adaptar continuamente a los cambios de su entorno y que por otra parte requiere nutrientes o recursos para continuar viviendo y seguir compitiendo, siendo uno de ellos la tecnología que le puede suministrar en su momento vitalidad, pero que tarde o temprano tendrá que ser desechada y cambiada por otra más adecuada a sus tiempos (Pérez, 2001; Martynyuk, 2017)

Esta dinámica es confirmada a través del concepto relacionado al cambio tecnológico en las empresas, que se denomina en la literatura de la gestión tecnológica como ciclo tecnológico en las empresas, cuyas fases son: i) conciencia; ii) Adquisición; iii) Adaptación; iv) Avance; v) Abandono. Lo cual implica el cambio constante de las tecnologías en las empresas, en función del ciclo de vida de las tecnologías y de la estrategia seguida por la empresa en el marco de su gestión tecnológica (Sumanth & Sumanth, 1996; Bastida & Torres, 2018).

Dicho de otra forma, un grado avanzado de madurez tecnológica, contrariamente de ser benéfico para la empresa puede ser nocivo por estar cerca de la obsolescencia. Este concepto de la dinámica tecnológica se pone de relieve en el seguimiento de la trayectoria tecnológica de las empresas, determinada no sólo por la tecnología, sino por el mercado y la producción (Jasso, 2004; Bernal , 2016).

Es decir, la empresa se ve obligada a actualizar sus tecnologías para poder ser competitiva continuamente (González, Martínez & Leal, 2017), mismas que pueden encontrarse en diferentes niveles en su ciclo de vida, por ejemplo, cuando la tecnología es generada por la propia empresa (endógena), podrán encontrarse en su etapa del ciclo de vida de nacimiento o desarrollo y cuando su origen es externo (exógena), podrán encontrarse en una etapa de desarrollo o madurez (Alarco#n, 2017).

Por lo anterior, se considera que el concepto factible a medir no es la madurez tecnológica de la empresa sino un concepto más dinámico como es la actualización o avance tecnológico considerando como referencia las tecnologías propias de su ramo, que le otorgan su capacidad de competir e innovar tanto en productos como en procesos de producción, lo cual se enmarca en una disciplina relativamente nueva que es la gestión tecnológica de la empresa. Por ello, lo que se considera importante a medir es este concepto dinámico de la tecnología que le puede otorgar competitividad a las empresas, que es la *gestión tecnológica*, la cual a través del tiempo va a trazar su trayectoria tecnológica (Jasso, 1999; Cuadros, Morales & Rojas, 2017; Carballo-Mendivil, Arellano-González & Rios-Vazquez, 2019).

ANTECEDENTES

Para medir que tan avanzada se encuentra la gestión tecnológica de una empresa, la literatura muestra dos vertientes metodológicas: i) una con cierta profundidad, orientada a empresas individuales, basado en estudios pormenorizados, que implican visitas a las empresas y evidencias documentales, como es el caso de los certámenes que se organizan en los diferentes países para el otorgamiento de reconocimientos del avance en materia de gestión de la tecnología e innovación; ii) la otra vertiente es orientado a obtener información estadística sobre una población de empresas en un área geográfica extensa, como son las encuestas generalmente organizadas por instituciones gubernamentales a muestras relativamente grandes de empresas en las que los cuestionarios por su naturaleza no contienen el número suficiente de preguntas (o ítems), sobre el tema para poder profundizar en el de la gestión tecnológica (Benhayoun-Sadafiyine, 2017).

En el caso de México, como ejemplo de la primera vertiente, de la evaluación del avance tecnológico de las empresas a nivel individual, se tiene el certamen anual que organiza a nivel nacional la Fundación del Premio Nacional de Tecnología e Innovación A.C. (PNTI), que ha desarrollado un modelo para evaluar la gestión de la tecnología, que incluye su impacto en términos económicos y de competitividad (PNTI, 2020).

En este mismo país, como ejemplo de la segunda vertiente se tiene la encuesta a nivel nacional denominada Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico (ESIDET), organizada por el Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI), se ha llevado a cabo en ocho ocasiones; cada dos años desde 2002 hasta 2014, con excepción de la última realizada en 2017. Dicha encuesta levanta entre otros datos, información sobre la madurez tecnológica de las empresas, para la cual ha desarrollado una escala de seis niveles que es analizada en el presente estudio (ESIDET-INEGI, 2017; Tavizón, González, & Guajardo, 2018).

Esta escala de la encuesta ESIDET es de naturaleza ordinal, que de acuerdo con la teoría de escalas de medición de Stevens (1946), debe ser monótonamente creciente, también denominada isotónica o de preservación del orden (del inglés *orderpreserving*)^[1]. No obstante, en esta encuesta ESIDET se han observado algunos problemas e inconsistencias en la escala de medición de la madurez tecnológica de las empresas, particularmente en su ordenación lineal, que son analizadas en el presente estudio.

Dicho lo anterior, el problema de investigación del presente trabajo se originó en estas observaciones a esta escala para medir la madurez tecnológica de las empresas que contiene dicha encuesta, en particular a la falta de conocimiento sobre las causas de estas inconsistencias y en función de ellas su posible solución. De aquí que, la pregunta eje de investigación fue, ¿Cuáles son los principales elementos que se deben considerar en una encuesta masiva para medir el avance en la gestión tecnológica de una empresa? En consecuencia, el objetivo general es identificar los principales elementos que deben ser considerados en una encuesta para obtener una medición objetiva del avance en la gestión tecnológica de una empresa.

De este objetivo general se desprenden los siguientes objetivos específicos,

1. Identificar los elementos tomados en cuenta en las prácticas internacionales para medir ya sea la madurez o el avance tecnológico de las empresas en las encuestas.

2. Analizar la escala propuesta por el INEGI en el ESIDET para medir la madurez tecnológica de una empresa.

3. Hacer una propuesta de los elementos a considerar en una encuesta para una escala para medir el avance en la gestión tecnológica en una empresa.

La justificación consistirá primeramente en haber detectado un vacío en la literatura referente a escalas para medir la madurez tecnológica de las empresas en encuestas masivas y en segundo lugar, en función de ello en proporcionar elementos a considerar en la construcción de una escala para medir el avance en la gestión tecnológica de una empresa en el contexto de estas encuestas, particularmente las levantadas por las instituciones gubernamentales, como puede ser el INEGI en el caso de México, considerando que esta información debe estar en la base de las decisiones en materia de estrategias de empresas y políticas públicas orientadas al fomento del avance tecnológico de un país (Villareal & Santamaría, 2016).

En función de lo anterior, la hipótesis planteada es, Ha: La escala considerada por el INEGI en la encuesta ESIDET para medir la madurez tecnológica de las empresas presenta inconsistencias que le restan aplicabilidad.

Los supuestos de los que se parte en el presente estudio son básicamente: i) la cada vez mayor importancia del papel que juega la tecnología en la sobrevivencia y competitividad de las empresas (González, Martínez, & Leal, 2017); ii) la relevancia del rol de la información que proporcionan las instituciones gubernamentales en la conformación de las políticas públicas; iii) la importancia que reviste la precisión de los instrumentos de medición, particularmente cuando se trata de encuestas a nivel de un país.

MÉTODO

Dado que el centro del análisis de este estudio es una escala ordinal para medir la madurez tecnológica de las empresas, el fundamento teórico metodológico, parte de la teoría de escalas de Stevens (1946), que define una escala ordinal como, la descripción de las variables a lo largo de un continuo sobre el que se pueden ordenar los valores y que pueden establecerse relaciones de comparaciones como: mayor que, menor que o igual que, entre los elementos. Estas escalas tienen la estructura que puede llamarse isotónica o de preservación de orden. En matemáticas, una función entre conjuntos ordenados se dice monótona (o isotona) si conserva el orden dado, las funciones de tal clase pueden ser monótonamente crecientes o monótonamente decrecientes. Otra característica de las escalas ordinales es, debido a que los intervalos entre los valores pueden ser desiguales, no es posible hacer juicios absolutos, sino sólo relativos. Estas teorías fueron parte importante de la fuente para haber detectado las inconsistencias de la escala ESIDET, particularmente la falta de ordenación lineal en esta escala ordinal.

Referente al tipo de investigación del estudio, es no experimental, transversal, que procura conocimiento aplicado, con enfoque predominantemente cuantitativo, basada en datos empíricos de una encuesta a nivel nacional, con un alcance o nivel de profundidad correlacional. El diseño metodológico se basa en la búsqueda documental de los diferentes modelos nacionales e internacionales para medir ya sea la madurez o el avance en la gestión tecnológica, dentro de ellos, se consideró el modelo de base empírica desarrollado por el del centro de investigación canadiense INO (2012), partiendo del modelo TRL de la NASA y orientado a la gestión de la innovación en las empresas.

La unidad de análisis es esencialmente el modelo desarrollado por el INEGI para medir la madurez tecnológica de las empresas mexicanas, para lo cual se toma como base la encuesta ESIDET 2017 realizada a las 32 entidades federativas del país. En el caso de esta encuesta, las unidades de análisis o sujetos son empresas con 20 o más empleados, instituciones de educación superior (IES), organizaciones de la sociedad civil (OSC) y dependencias gubernamentales, que sumaron 55,903 organizaciones a nivel nacional.

De esta población se tomó una muestra de 13,204 organizaciones, las cuales fueron 12,159 empresas y 1,045 instituciones, considerando un nivel de confianza del 95%; un error relativo del 9% y una tasa de no respuesta máxima del 20%.

Las principales variables de esta encuesta fueron,

- Los seis niveles de madurez tecnológica de la encuesta ESIDET[2]: N1, N2, N3, N4, N5 y N6.
- La existencia de un departamento técnico para documentar procesos de producción.
- La cantidad de personas que labora en estos departamentos.

El instrumento es el cuestionario a través del cual el INEGI realizó la encuesta que se encuentra disponible en el sitio WEB de la encuesta ESIDET 2017 en el siguiente enlace,

https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/esidet/2017/doc/Cuestionario_ESIDET2017.pdf

RESULTADOS

A continuación, se muestran algunos modelos y técnicas nacionales e internacionales desarrolladas para hacer la medición de la madurez tecnológica de un programa y el avance en la gestión tecnológica de las empresas, tanto en la vertiente de la empresa individual como en la de las encuestas.

Medición de la madurez o disponibilidad de la tecnología de un programa

El modelo que mayor reconocimiento y difusión internacional ha tenido para medir la preparación o disponibilidad tecnológica en las diferentes etapas de un programa o proyecto, es la escala de nueve niveles TRL (del inglés *Technological Readiness Level*), método diseñado por la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA por sus siglas en inglés), de los E.U.A. en la década de los 70's, para proyectos o programas en el ámbito aeronáuticos y espaciales (Mihaly, 2017).

Cabe mencionar que, previo a determinar los niveles en la escala TRL del proyecto, se realiza una evaluación de la madurez tecnológica de los componentes individuales a evaluar, denominada evaluación de la disponibilidad o preparación tecnológica TRA (del inglés *Technological Readiness Assessment*), que examina los elementos del programa, los requisitos tecnológicos y las capacidades tecnológicas demostradas (DoE, 2010). Los nueve niveles de la escala TRL son los siguientes.

TRL 1 - Principios básicos observados y documentados

TRL 2 - Concepto de tecnología y/o aplicación formulado

TRL 3 - Prueba de concepto de función crítica demostrada en forma analítica y experimental y/o característica

TRL 4 - Validación de componentes y/o pruebas en entornos de laboratorio

TRL 5 - Validación de componentes y/o pruebas en un entorno relevante

TRL 6 - Modelo de sistema / subsistema o demostración de prototipo en un entorno relevante (terreno o espacio)

TRL 7 - Demostración del prototipo del sistema en un entorno espacial

TRL 8 - Sistema real completado y "calificado para vuelo" mediante prueba y demostración (en tierra o espacio)

TRL 9 - Sistema real "probado en vuelo" a través de operaciones de misión exitosas

Esta escala TRL diseñada originalmente para proyectos o programas espaciales, debido a su rigor, claridad y secuencia lógica, ha sido adoptada mediante adecuaciones para medir el estado tecnológico en otros tipos de proyectos o programas en otras industrias o instituciones como fue el Departamento de Defensa (DoD por sus siglas en inglés), de los EUA, para sus adquisiciones en la década de 2000, así como por el Departamento de Energía (DoE por sus siglas en inglés), también de este país en 2007, para medir la madurez tecnológica de programas o proyectos en el ámbito de las energías (DoE, 2010).

Posteriormente esta escala TRL ha tenido difusión internacional, siendo adoptada en 2008 por la Comisión Europea para ser empleada por la Agencia Espacial Europea (ESA, por sus siglas en inglés), misma que fue formalizada mediante el estándar industrial ISO 16290:2013, cuyo título "Sistemas espaciales: definición de los niveles de preparación tecnológica (TRL) y sus criterios de evaluación" (ESA, 2008).

En cuanto a su difusión en el ámbito industrial, en el 2010 la Comisión Europea aconsejó que los proyectos de investigación e innovación financiados por la Unión Europea (UE), adoptaran esta escala, razón por la cual los niveles TRL se utilizaron en 2014 en el programa Horizonte 2020 (H2020), de la UE. La Asociación Europea de Organizaciones de Investigación y Tecnología (EARTO, por sus siglas en inglés) ha publicado un enfoque integral sobre los niveles TRL (European Commission, 2014).

De igual forma, en México el Fondo de Innovación Tecnológica (FIT), del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y la Secretaría de Economía (SE), desde 2015 hace uso de esta escala para medir las etapas de maduración tecnológica de programas o proyectos, igualmente empleando la metodología TRL de la NASA.

Se observa que en los casos en que esta escala es aplicada a ámbitos no espaciales, como es la DOE, EARTO o CONACYT, los seis primeros niveles de esta escala son esencialmente iguales a los de la NASA, cambiando en los tres últimos niveles 7, 8 y 9, en los cuales se especifica un “entorno o ambiente relevante o real” en lugar del ámbito espacial, lo cual abre la puerta para que se pueda aplicar a prácticamente a todos los proyectos o programas de las diferentes industrias. A continuación se muestran estos tres últimos niveles de la escala para medir la madurez tecnológica empleada por el CONACYT en el FIT en un ejemplo en el sector de salud (CONACYT, 2015).

TRL 7: Demostración de sistema o prototipo en un entorno real

TRL 8: Sistema completo y certificado a través de pruebas y demostraciones

TRL 9: Sistema probado con éxito en entorno real

Esta escala tiene un paralelismo con el conocido proceso que involucra la investigación, desarrollo e innovación (I+D+i), como puede ser para los nuevos productos o procesos: 1) los tres primeros niveles TRL1, TRL2 y TRL3, corresponderían a la investigación; 2) los cuatro siguientes, TRL4, TRL5, TRL6, y TRL7 al desarrollo; y 3) los dos últimos, TRL8, y TRL9, a la innovación. En el entendido que no todos los proyectos recorren los nueve niveles, sino que pueden partir de un nivel intermedio y llegar a otro intermedio o alcanzar el último, como es en el caso de los productos innovadores.

A continuación, se presenta en la Tabla 1 tres de las principales escalas para medir el estado o madurez tecnológica de un programa o proyecto, haciendo notar que parten de la misma escala TRL diseñada originalmente por la NASA.

TABLA 1
Modelos para medir el nivel de preparación o madurez tecnológica de un programa

Modelo	Propósito	Ventajas	Desventajas
TRL de la NASA (década de los 70's)	Evaluar mediante una escala de 9 niveles la madurez tecnológica de los componentes de un programa espacial	Internacionalmente reconocido e imitado por la sencillez y robustez de la escala	Diseñado sólo para proyectos o programas aeronáuticos y espaciales
TRL de la Unión Europea (2014)	Evaluar mediante una escala de 9 niveles la madurez, tecnológica de los componentes de un programa en los diferentes sectores económicos	Ampliamente utilizado incluyendo el programa actual Horizonte 2020 de la Unión Europea (H2020)	Empleado sólo para evaluar la madurez tecnológica de programas o proyectos
TRL del CONACYT, en México (2015)	Evaluar mediante una escala de 9 niveles la madurez, tecnológica de un programa o proyecto en los diferentes sectores económicos	Utilizado para evaluar el apoyo de proyectos incluyendo los propuestos al Fondo de Innovación Tecnológica (FIT) con la SE	Empleado sólo para evaluar la madurez tecnológica de programas o proyectos, no para medir la madurez tecnológica de una empresa

Elaboración propia

Cabe notar que de la misma forma que esta escala TRL mide la tecnología de los elementos de un proyecto, es igualmente válida para identificar la fase en el ciclo de vida en el que se encuentra una tecnología particular, que correspondería a su nivel de madurez (Albert, 2016).

Por otra parte, esta escala TRL permite evaluar el riesgo que implica la tecnología en un proyecto, siendo este inversamente proporcional al número de niveles TRL superados en su desarrollo, es decir, a mayores niveles alcanzados el riesgo disminuye, sin embargo, al mismo tiempo un mayor riesgo puede implicar un mayor grado innovador. Dicho de otra forma, las tecnologías disruptivas fuertemente innovadoras que son de alto riesgo, generalmente se encuentran en su etapa de emergencia (o nacimiento), pueden no recorrer los últimos niveles de la escala TRL, mientras que las tecnologías incrementales, menos innovadoras y de menor riesgo pueden recorrer los nueve niveles (Mihaly, 2017).

No obstante, como antes se comentó, a pesar de su amplia difusión, se estima que esta escala TRL diseñada para medir la preparación o disponibilidad de la tecnología de un programa o proyecto, no es aplicable a una empresa, dado que en ésta no se tiene sólo un proyecto o programa o una sola tecnología, sino más bien puede verse como un proceso continuo de renovación de proyectos, en los cuales la tecnología puede tener diferentes grados de madurez en los mismos. Lo que interesaría para el presente estudio es poder medir el grado de avance o madurez de la gestión de la tecnología que se encuentra empleando la empresa que puede determinar su competitividad.

Evaluación del avance tecnológico en empresas individuales

Se refiere a la evaluación que se hace a una empresa o institución de manera individual a una o a un pequeño número de ellas, que excluye las encuestas masivas a un gran número de empresas.

Uno de los primeros y más reconocidos modelos teóricos para clasificar las capacidades tecnológicas es el de Lall (1992), que establece tres niveles de las capacidades tecnológicas: básicas, como son las rutinas de producción; intermedias que pueden ser adaptativas o duplicativas; y las avanzadas como las de fuerte innovación y que manejan el riesgo.

Los investigadores Bell y Pavitt (1995), con base en el modelo de Lall, desarrollaron una taxonomía partiendo de los siguientes cuatro niveles de las capacidades tecnológicas: 1) Producción de rutina, con tecnología existente; 2) Tecnología básica de innovación; 3) Tecnología intermedia de innovación; y 4) Tecnología avanzada de innovación. Estos cuatro niveles los relacionan en un formato de matriz con las tres funciones básicas tecnológicas que realiza la empresa: i) Capacidad de inversión en tecnología; ii) Capacidad en tecnología de producción; iii) Capacidad de vinculación. El resultado de estas tres funciones y su interacción con los cuatro niveles antes definidos, van a determinar las capacidades de generar y manejar el cambio tecnológico de la empresa.

Sin embargo, este modelo de Bell y Pavitt, a pesar de ser incluyente en cuanto a los niveles y funciones de las capacidades tecnológicas de las empresas, presenta dos inconvenientes para el objetivo del presente estudio, por una parte, no ofrece una metodología práctica por medio de una escala para la medición de estas capacidades tecnológicas y por otra, el hecho de medir la capacidad tecnológica no implica necesariamente las acciones y resultados de la utilización de esta capacidad. Es decir, una cosa es la capacidad de una empresa y otra son las acciones del empleo de esta capacidad, las cuales se consideran más relacionado al estado del avance tecnológico con el que opera una empresa.

Dentro de otras aproximaciones para medir el nivel tecnológico de las empresas están algunos otros métodos, como es el del Gradiente Tecnológico de los investigadores estadounidenses David y John Sumanth, de la Universidad de Miami, Florida, para medir el grado de transferencia de tecnología entre un emisor y un receptor de una tecnología dada y para ello establece una escala del nivel del gradiente tecnológico de las empresas, que considera seis variables: 1) Gasto en I+D como porcentaje de las ventas; 2) Número de patentes solicitadas; 3) Ingresos netos por USD invertido en I+D; 4) Número de nuevos productos

desarrollados; 5) Porcentaje en la participación de mercado; 6) Utilidades netas como porcentaje de ventas (Sumanth & Sumanth, 1996; Ollivier, Domínguez, Santini & Armendariz, 2020).

En México, el más conocido de estos modelos de evaluación del avance tecnológico de una empresa es el establecido por el Premio Nacional de Tecnología e Innovación (PNTI), desde 1998 para el certamen que realiza anualmente para el otorgamiento de este premio en diferentes categorías y tamaño de organizaciones. El principal propósito del modelo del sistema de gestión tecnológica es impulsar el desarrollo de las organizaciones mexicanas de cualquier giro o tamaño, para proyectarlas de manera ordenada a niveles competitivos de clase mundial mediante una adecuada gestión de la tecnología. Este modelo orientado a la evaluación de la gestión tecnológica de una organización, la hace a través de cinco funciones básicas, que son: i) Vigilar; ii) Planeación; iii) Habilitar; iv) proteger; v) Implantar, las cuales a su vez contienen 18 procesos que son evaluados por medio de evidencias documentales y visitas de campo (PNTI, 2020).

Cabe señalar, que la literatura muestra otros modelos en la medición de tecnologías a empresas individuales, como es la escala de Gartner para medir la madurez tecnológica en los procesos de infraestructura y operación de las tecnologías de información (TI) (Viejo & Naranjo, 2018; Nolasco & Ojeda, 2016; González, Muñoz & Yepes, 2015), sin embargo se estima que a pesar de reconocer que estas tecnologías orientadas a los procesos de información en las empresas ocupan una cada vez mayor importancia en las tecnologías en general, no toma en cuenta la totalidad de tecnologías de la empresa, como serían las orientadas a los productos (salvo que su producto sea en TI), por lo que dado su enfoque parcial, no se considera de interés suficiente para el presente estudio.

En este mismo tenor se encuentra el modelo COBIT (del inglés Control Objectives for Information and related Technologies), orientado a medir la madurez de los procesos relativos a las tecnologías de información en las organizaciones, así como otros modelos para medir la madurez de actividades relacionadas a diversas tecnologías específicas de las empresas como es la gestión del conocimiento (Tiers, Mourmant & Leclercq-Vandelannoitte, 2013; Montañez-Carrillo & Lis-Gutiérrez, 2017; López & Hurtado, 2017).

A continuación, se muestra en la Tabla 2 tres de los principales modelos para evaluar el estado tecnológico de una organización, sea empresa o institución.

TABLA 2

Modelos para medir diferentes aspectos de avance tecnológico en las empresas de manera individual

Modelo	Propósito	Ventajas	Desventajas
Bell y Pavitt (1995)	Clasificar las capacidades tecnológicas de las empresas para la producción, generación y manejo del cambio tecnológico	Modelo integral que establece una escala de cuatro niveles que relaciona con las tres funciones tecnológicas más importantes	La escala de cuatro niveles no es suficientemente explícita en el contenido y la frontera de cada uno de los niveles
Gradiente tecnológico de Sumanth (1996)	Determinar la capacidad de transferencia de tecnologías, tanto para las empresas nuevas como para las existentes	Establece una escala del gradiente tecnológico con base en seis indicadores que permite la gestión de tecnologías nuevas y existentes	Su cálculo no es sencillo, puesto que requiere información económica, financiera y de participación de mercado
Premio Nacional de Tecnología e Innovación (1998)	Diseño de un modelo gestión tecnológica e innovación para las organizaciones que se emplea para la evaluación de sus certámenes en México	Modelo suficientemente genérico basado en cinco funciones y 18 procesos que puede ser implantado en todo tipo de organizaciones	Para la evaluación de la gestión tecnológica e innovación requiere una gran cantidad de información, visitas de campo y evidencias documentales

Elaboración propia

Como antes se comentó estos modelos para medir el estado tecnológico de una empresa, son integrales, al considerar no sólo los aspectos tecnológicos, sino también su efecto en el desempeño de las empresas, sin embargo, debido a su extensión no son aplicables para medir este estado tecnológico a través de encuestas masivas a poblaciones de empresas relativamente grandes, de decenas de miles, como es el caso en la mayor parte de países.

Medición del avance de la gestión tecnológica de empresas en una encuesta

Las encuestas por su propia naturaleza, deben ser relativamente breves para poder ser levantadas en períodos cortos de tiempo, lo cual obliga a que los datos recabados a través de un número pequeño de preguntas o ítems sean suficientes para obtener la información básica deseada.

Una encuesta reconocida internacionalmente relativa al tema es la empleada por la Comunidad Europea para medir la innovación en las empresas CIS (del inglés Community Innovation Survey), la cual recoge aspectos clave de la tecnología de las empresas como es el gasto en investigación y desarrollo (I+D), la innovación en sus cuatro versiones (producto, proceso, mercadotecnia y organización), alianzas, registros de propiedad intelectual, etc., de donde puede inferirse su nivel de gestión tecnológica (Hashi & Stojcic, 2013).

De la misma manera la Red Iberoamericana de indicadores de Ciencia y Tecnología (RICYT), asociada a la Organización de Estados Americanos (OEA), ha desarrollado el Manual de Bogotá para medir a través de una encuesta la innovación en las empresas (RICYT, 2001), y que considera esencialmente los mismos aspectos que en la encuesta CIS antes descritos.

Como antes se comentó en México, organizada por el Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI), de manera periódica se lleva a cabo a nivel nacional en las 32 entidades federativas, la Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico (ESIDET), que adicionalmente a los temas de innovación levanta información sobre la madurez tecnológica de las empresas a través de un cuestionario de ocho preguntas, de la cual más adelante se proporciona información detallada sobre ella.

TABLA 3
Modelos para medir diferentes aspectos de avance tecnológico en las empresas en encuestas a grandes conjuntos de organizaciones

Modelo	Propósito	Ventajas	Desventajas
Community Innovation Survey (CIS) de la Unión Europea (1992)	Recabar información armonizada a nivel europeo sobre las innovaciones y la tecnología implicada en las empresas, se publica a nivel de microdatos por Eurostat.	Ha sido actualizada en varias ocasiones conforme el Manual de Oslo de la OCDE, por lo que es ampliamente utilizada en los países de la Unión Europea.	Es relativamente extensa, con más de 100 preguntas o ítems. No mide el nivel tecnológico de la empresa con alguna escala.
Manual de Bogotá del RICYT de la OEA (2001)	Recabar información y normar sobre indicadores de innovación y desarrollo tecnológico en América Latina y el Caribe.	Una adecuación de las normas europeas del Manual de Oslo al contexto Latinoamericano.	Es relativamente extensa, con un gran número de ítems. No mide específicamente el nivel tecnológico de la empresa con alguna escala.
Encuesta sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico (ESIDET) por el INEGI (2002)	Recabar información sobre el avance de las actividades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación en las organizaciones mexicanas	La encuesta se realiza de manera periódica a nivel nacional y es publicada para el diseño de políticas e informar a organizaciones sobre las actividades en I+D+i	No está suficientemente actualizada sobre las nuevas tecnologías. La escala para medir madurez tecnológica presenta algunas inconsistencias.

Elaboración propia

Cabe observar, que estas tres escalas presentadas en la Tabla 3 coinciden en la inmensa mayoría de los aspectos que se miden, sobre los temas de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i), en las empresas, con la salvedad de que sólo en la del ESIDET se mide la madurez tecnológica de las empresas, tema que a continuación se analiza.

Medición de la madurez tecnológica de las empresas en México por el INEGI en la encuesta ESIDET

Los niveles de madurez tecnológica definidos en esta encuesta, son los seis mostrados a continuación para los cuales se hace una pregunta para cada uno de ellos, con cuatro opciones de respuesta correspondiente a la frecuencia con la que realizan las actividades asociadas a este nivel: i) Siempre; ii) Con frecuencia; iii) A veces; iv) Nunca.

Las actividades asociadas a la madurez tecnológica sobre las que se pregunta esta frecuencia, son las siguientes.

1. Nivel 1. Adquiere licencias sobre productos o procesos o compra maquinaria y equipo para ampliar o actualizar sus procesos de producción y la pone en marcha sin modificaciones
2. Nivel 2. Adquiere licencias sobre productos o procesos o compra maquinaria y equipo, y las asimila al documentar los aspectos relacionados con estas tecnologías
3. Nivel 3. Adapta y modifica las tecnologías sobre productos o procesos, maquinaria o equipo adquiridos con la finalidad de establecer mayores niveles de eficiencia en la producción
4. Nivel 4. Genera o desarrolla tecnología propia para el uso exclusivo de la empresa o de empresas del mismo grupo al que pertenece
5. Nivel 5. Patenta los productos o tecnologías desarrolladas
6. Nivel 6. Además de generar o desarrollar tecnología propia, la empresa vende la tecnología a otras empresas.

Cabe mencionar que a través del tiempo estos niveles han sufrido algunos cambios, como fueron los siguientes.

· En las encuestas de los años 2006, 2008 y 2010, se tenían siete niveles y el que se encontraba en el último o séptimo era la actividad, “Patenta los productos o tecnologías desarrolladas”, que en la encuesta del año 2017 se encuentra en el nivel cinco o penúltimo.

· En la encuesta del año 2012 siguen apareciendo siete niveles, pero a diferencia de las anteriores el nivel de la actividad, “Patenta los productos o tecnologías desarrolladas” ya aparece en el sexto nivel y en el séptimo se encuentra la actividad correspondiente a la del nivel seis en la encuesta 2017, mostrado.

· A partir de la encuesta del año 2014, se encuentran solo los seis niveles de la encuesta 2017, antes mostrados.

Adicionalmente a estas preguntas que corresponden a los seis niveles de madurez en la encuesta 2017, la encuesta pregunta si la empresa cuenta con un departamento para la documentación de los procesos de producción, encontrándose que 10,921 empresas cuentan con uno con un total de 72,892 personas que laboran en él, así como si cuenta con alguna certificación internacional (Nemessany, 2015).

A continuación, en la Tabla 2 se muestran el número de empresas de acuerdo a la frecuencia con la que realizan alguna de las actividades de madurez tecnológica definidas en los seis niveles anteriores en la encuesta ESIDET 2017.

TABLA 4
Número de empresas a nivel nacional que realizan alguna de las actividades asociadas a la madurez tecnológica según su frecuencia

Frecuencia	Número de empresas	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Suma respuestas
Siempre	5 800	2 337	1 862	2 293	1 752	1 392	489	10 125
Con frecuencia	10 272	4 591	2 957	5 266	3 443	991	854	18 102
A veces	20 486	13 262	8 884	9 233	4 826	2 661	1 438	40 304
Nunca	54 444	35 712	42 200	39 111	45 882	50 859	53 122	266 886

Elaboración propia con base en ESIDET 2017

Inconsistencias en la escala del INEGI empleada en la encuesta ESIDET para medir la madurez tecnológica de las empresas

A continuación, se muestran las observaciones a la tabla 4 relacionada a la frecuencia con la que las empresas realizan alguna de las actividades asociadas a la madurez tecnológica indicadas en el nivel correspondiente. El análisis de dichas observaciones refleja las inconsistencias en esta escala, relacionadas a su falta de univocidad, progresividad y universalidad, que ponen en tela de juicio la validez del instrumento.

1) Falta de univocidad. La suma del número de respuestas en los seis niveles es mayor al número de empresas de la muestra en los tres casos de frecuencias, tal como se muestra en la Figura 1. Esto se debe a la ambigüedad de las actividades en las preguntas al permitir que las empresas tengan la opción de responder en varios niveles de la escala cuando en principio debería ser unívoco, es decir, sólo uno inequívoco. Dicha ambigüedad se eliminaría al seleccionar en una escala progresiva sólo el nivel máximo de madurez tecnológica, determinado por las actividades que se realizan, de tal forma que el número de respuestas sean unívocas coincidiendo con el número de empresas.

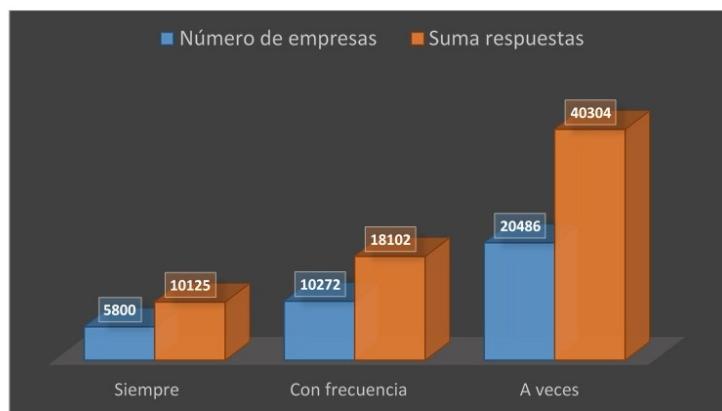


FIGURA 1

Número de empresas que respondieron y número de respuestas en las diferentes frecuencias de realización de actividades relacionadas a la madurez tecnológica de la empresa

Elaboración propia con base en información de la ESIDET 2017

Se observa que en las tres frecuencias con las que realizan las actividades tecnológicas las empresas, el número de respuestas es considerablemente mayor al número de empresas, lo que indica que algunas de ellas seleccionan al menos dos niveles en su respuesta.

2) Falta de progresividad. Tiene inconsistencias en el orden de progresividad o gradualidad de los niveles. Asumiendo que la escala tiene una lógica progresiva, gradual, es incongruente que se tenga un número mayor de empresas en un nivel tecnológico superior que en uno inferior en las empresas encuestadas.

Por ejemplo, en el caso de la respuesta “Con frecuencia”, el nivel 3 tiene un mayor número de empresas que los niveles 1 y 2, igualmente en el nivel 4 tiene más empresas que en el nivel 2, lo cual, no corresponde a una lógica de escala de madurez que por definición debe ser progresiva y gradual (ver Figura 2). Esta inconsistencia corresponde a lo que en la teoría de escalas se denomina matemáticamente como falta de ordenación lineal (Levi, 1942).

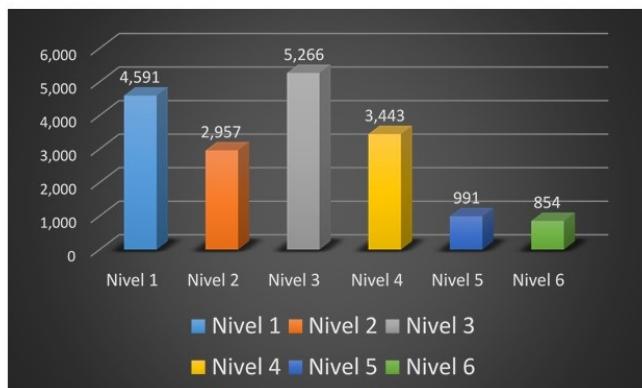


FIGURA 2

Número de empresas que respondieron “con frecuencia” en la realización de actividades relacionadas a los seis niveles de la madurez tecnológica de la empresa

Elaboración propia con base en información de la ESIDET 2017

Esta inconsistencia en la respuesta “Con frecuencia”, muestra que la escala no está bien diseñada de manera progresiva o gradual, de tal forma que en principio para alcanzar un nivel se tuvo que haber pasado por los anteriores, lo cual tiene que ver con la descripción de las actividades asociadas a la madurez tecnológica de la encuesta. Se observa que esta falta de lógica se encuentra marcada principalmente en los primeros niveles, 1,2 y 3, a partir del nivel 3 y mayores presenta progresividad. Dicha inconsistencia se muestra en los valores descriptivos de la Tabla 5.

TABLA 5

Valores descriptivos del número de empresas que respondieron que “Con frecuencia” realizan alguna de las actividades de los seis niveles asociadas a la madurez tecnológica

Nivel	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Nivel 1	27	16	188	86.74	53.267
Nivel 2	27	12	126	55.70	32.308
Nivel 3	27	18	259	101.37	67.910
Nivel 4	25	9	188	56.56	47.216
Nivel 5	20	0	36	15.95	11.166
Nivel 6	20	0	116	17.20	24.97

Elaboración propia con base en información de la ESIDET 2017

Esta tabla pone de relieve en los valores de las medias de las empresas en los seis niveles las inconsistencias de progresividad antes mencionadas, en donde la media aritmética del número de empresas en el nivel 3 es mayor al de los niveles 1 y 2, cuando lógicamente debería ser menor, así como el nivel 4 es ligeramente mayor que el nivel 2 y la media del nivel 6 es mayor al nivel 5. Estas inconsistencias se muestran gráficamente en la Fig. 3. De la misma forma, esta inconsistencia no es congruente con la teoría de las escalas ordinales de Stevens (1946), antes mencionada, por alterar el orden denominado monótonamente creciente.

Por otra parte, igualmente se observa una gran dispersión (heterogeneidad), en el nivel 6 con un coeficiente de variación (C.V.), de 1.45.

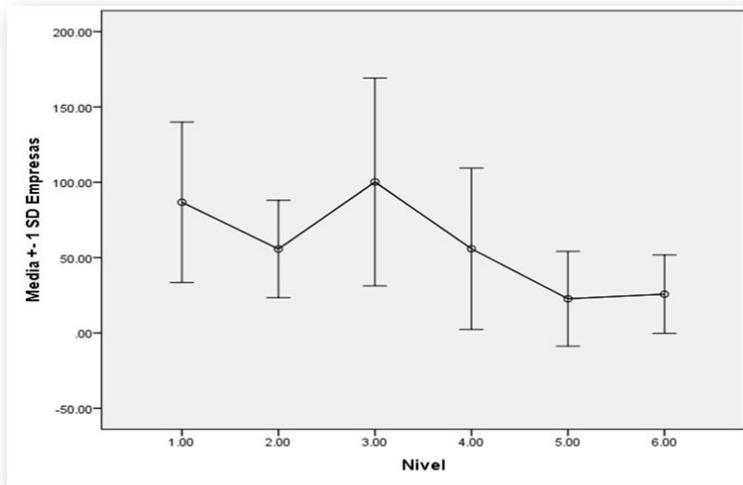


FIGURA 3

Diagrama que muestra el valor mínimo y máximo de la primera Desviación Estándar y la Media de las empresas que respondieron “Con frecuencia” en la realización de actividades de los seis niveles relacionadas a la madurez tecnológica de la empresa

Elaboración propia con base en información de la ESIDET 2017

Cabe observar que, la gráfica de la Fig. 3 muestra sólo los valores de las medias y la primera desviación estándar, el número total de empresas se muestra en la Fig. 2.

Con el fin de poner de relieve esta inconsistencia, se graficaron los valores de los seis niveles en las tres frecuencias contrastándolos con una escala lineal como pudiera ser una escala progresiva ideal (ver Figuras 4, 5 y 6), tomando para su trazo la referencia de los valores en los extremos, Niveles 1 y 6.

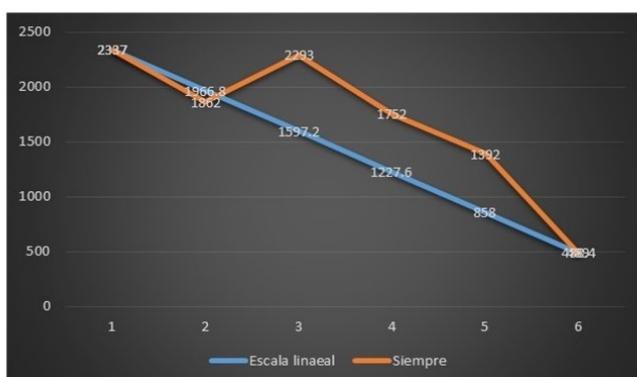


FIGURA 4

Gráfica que muestra el contraste de una escala lineal con la escala de la encuesta ESIDET 17 de las empresas que respondieron “Siempre” en la realización de actividades en los seis niveles relacionadas a la madurez tecnológica de la empresa

Elaboración propia con base en información de la ESIDET 2017

Se observa esta inconsistencia de la falta de progresividad en la escala de frecuencia “Siempre” de la Fig. 4, en el hecho de tener un mayor número de empresas en un nivel de mayor dificultad que en uno menor, como es el caso del nivel 3 (2,293), que supera en número de empresas al nivel 2 (1,862).

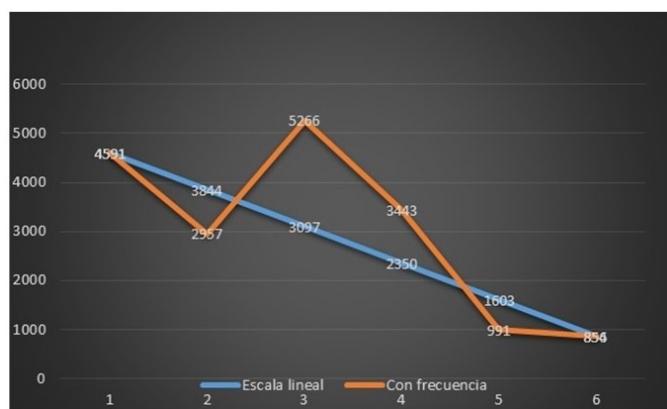


FIGURA 5

Gráfica que muestra el contraste de una escala lineal con la escala de la encuesta ESIDET 17 de las empresas que respondieron “Con frecuencia” en la realización de actividades en los seis niveles relacionadas a la madurez tecnológica de la empresa

Elaboración propia con base en información de la ESIDET 2017

Tal como se observa en las Figs. 2 y 3, esta inconsistencia de la falta de progresividad en la escala de frecuencia “Con frecuencia” se muestra en la Fig. 5, en el hecho de tener un mayor número de empresas en un nivel de mayor dificultad que en uno menor, como es el caso del nivel 3 (5,266), supera en número de empresas al nivel 2 (2,957) y al nivel 1 (4,591), así como el nivel 4 (3,443), supera al nivel 2 (2,957), lo cual rompe con una lógica de gradualidad en el orden de los niveles de menor a mayor dificultad tecnológica.

Desde otra perspectiva la inconsistencia anterior se puede observar en el análisis de correlación de Pearson en el número de empresas en las 32 entidades federativas entre el Nivel 6 y los otros cinco niveles, tiene los siguientes valores: 0.823 con el Nivel 1; 0.882 con el Nivel 2; 0.788 con el Nivel 3; 0.881 con el Nivel 4; y 0.882 con el Nivel 5, todos ($P < 0.05$). Se estima que estos valores son relativamente bajos, particularmente con el Nivel 3, para poder ser considerada una escala gradual basada en un modelo lineal.

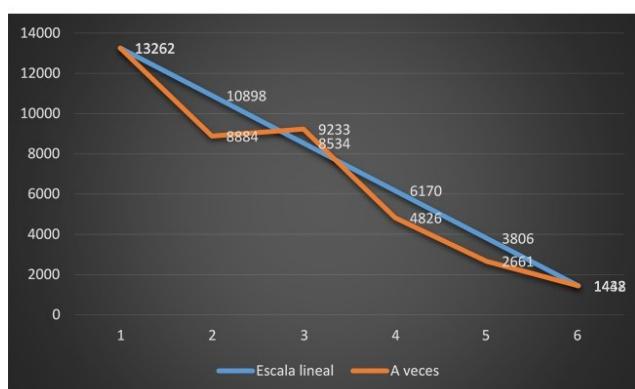


FIGURA 6

Gráfica que muestra el contraste de una escala lineal con la escala de la encuesta ESIDET 17 de las empresas que respondieron “A veces” en la realización de actividades en los seis niveles relacionadas a la madurez tecnológica de la empresa

Elaboración propia con base en información de la ESIDET 2017

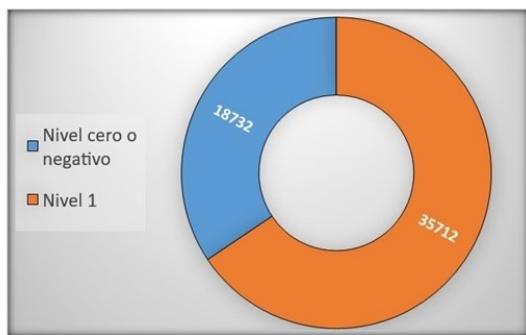


FIGURA 7

Gráfica que muestra el número de empresas que en la opción de “Nunca” en la realización de actividades relacionadas a la madurez tecnológica no alcanzan el nivel 1, por lo que estarían fuera de la encuesta en un nivel cero o negativo

Elaboración propia con base en información de la ESIDET 2017

Se considera que algunas de estas inconsistencias se deben a la ambigüedad en redacción de las actividades asociadas que componen los ítems propuestos en el ESIDET 2017 para definir un determinado nivel de madurez tecnológica en las empresas. A continuación, se analizan y hacen algunas observaciones sobre la redacción de estas actividades asociadas que ponen de relieve las tres inconsistencias antes señaladas: falta de univocidad, progresividad y universalidad. El entrecamillado en cursivas corresponde al enunciado original de la actividad en la encuesta ESIDET 17.

Nivel 1. “Adquiere licencias sobre productos o procesos o compra maquinaria y equipo para ampliar o actualizar sus procesos de producción y la pone en marcha sin modificaciones.”

Tal como se comentó en la observación 3) anterior, existe un gran número de empresas de la muestra, aproximadamente una tercera parte, que no alcanza este primer nivel. Se considera que un problema puede ser la confusión de poner en el mismo orden de ideas, el adquirir licencias sobre productos o procesos y la compra de maquinaria y equipo, puesto que esta última actividad es bastante común mientras que la adquisición de licencias puede ser bastante menos frecuente.

Nivel 2. “Adquiere licencias sobre productos o procesos o compra maquinaria y equipo, y las asimila al documentar los aspectos relacionados con estas tecnologías”.

Un problema puede ser que condicionar el documentar los aspectos relevantes de las tecnologías para asimilarlas, no considera la posibilidad de que esta asimilación se pueda dar sin tener que documentar los aspectos relacionados con estas tecnologías, que corresponde al desarrollo de conocimientos tácitos transmitidos oralmente para la operación del nuevo equipo, que puede ser bastante común.

Nivel 3. “Adapta y modifica las tecnologías sobre productos o procesos, maquinaria o equipo adquiridos con la finalidad de establecer mayores niveles de eficiencia en la producción.”

Se considera que la primera parte de esta redacción cumple con el objetivo de este nivel, sin embargo, en la segunda se observa que se refiere sólo a la eficiencia de la producción, excluyendo otras áreas no específicas de la producción como son los productos, la mercadotecnia o la organización en su conjunto.

Nivel 4. “Genera o desarrolla tecnología propia para el uso exclusivo de la empresa o de empresas del mismo grupo al que pertenece”.

Se considera que entre el nivel 3 anterior, adaptar y modificar tecnología y la actividad de generar tecnología propia, cabe el adquirir tecnologías a través de licencias, patentes, o contratar desarrollos tecnológicos externos, lo cual se considera parcialmente en el primer nivel.

Nivel 5. “Patenta los productos o tecnologías desarrolladas”

Se considera correcta la idea de explorar las actividades relacionadas al registro de la propiedad intelectual, sea industrial o de derechos de autor, sin embargo, cabe mencionar que además de la patente de productos es

necesario especificar el registro de propiedad intelectual relacionada a los procesos, como la venta de licencias de producción o Know How.

Nivel 6. “Además de generar o desarrollar tecnología propia, la empresa vende la tecnología a otras empresas.”

Se considera correcta la idea de explorar la posibilidad de obtener ingresos por la venta de tecnología, que pueden ser regalías, licencias, etc., sin embargo, en este nivel más alto, se estima debe también considerar si la empresa practica los últimos avances tecnológicos de la digitalización de los procesos, particularmente los relacionados con las TIC que, dicho sea de paso, es el campo donde se están dando los mayores avances tecnológicos (cómputo en la nube, robotización, inteligencia artificial, big data, etc.).

Es decir, de la misma forma que las tecnologías evolucionan, las escalas para medirla también deben evolucionar. Este concepto es similar al propuesto por Parasuraman y Colby (2015), para actualizar la escala del índice que mide la propensión de las personas a adaptar una nueva tecnología denominado TRI 2.0.

Escala propuesta para medir la madurez de la gestión de tecnología en la empresa

Como antes se comentó, no es de interés medir la madurez tecnológica de una empresa, puesto que las tecnologías que adoptan las empresas tienen su propio ciclo de vida y por lo mismo pueden estar continuamente cambiando en la empresa. Sin embargo, se considera que si puede ser de interés medir la actualización del estado o avance en que se encuentran las diferentes tecnologías que se encuentran empleando las empresas, lo cual implica los criterios y decisiones con los que se realizan los cambios de tecnología en la empresa, que corresponde al ámbito de su gestión tecnológica.

Conscientes de que una escala de esta naturaleza para un tema tan vasto y cambiante, que deba ser confiable, válida y un tanto universal aplicable a todos los sectores económicos, no es una tarea fácil, a continuación en función de los puntos anteriores, se propone unas ideas de lo que podría denominarse una escala preliminar de siete niveles para medir este concepto de la madurez de la gestión tecnológica en una empresa, inspirada en escalas internacionales relacionadas y la misma del ESIDET, pretendiendo subsanar los problemas antes mencionados.

Las actividades se enuncian conservando básicamente en el mismo formato en las preguntas de la encuesta ESIDET, como las asociadas a los diferentes niveles tecnológicos, con la diferencia de que se debe especificar que la empresa se ubique en uno sólo nivel, sin ofrecer opciones de la frecuencia con las que las lleva a cabo. Por otra parte, se pretende que incluya tanto la tecnología en productos como en procesos, en los cuales además de los productivos, se encuentran los de mercadotecnia y de la organización en general definidos en el Manual de Oslo de la OCDE (Ollivier, Martínez & Álvarez, 2018), así como la digitalización de los procesos antes comentada.

ü Nivel 1. Conciencia o conocimiento de la disponibilidad de nuevas tecnologías en productos o procesos convenientes al negocio, que planea adquirir.

ü Nivel 2. Adquisición y asimilación de tecnologías para nuevos productos o procesos, a través de la compra de equipos nuevos.

ü Nivel 3. Adaptación y modificación de las tecnologías embebidas en los equipos adquiridos a nuevos productos o procesos propios.

ü Nivel 4. Compra de tecnologías, adquiere licencias o subcontrata desarrollos tecnológicos externos para nuevos procesos o productos propios.

ü Nivel 5. Generación de tecnología propia y/o combinación con externas para nuevos procesos o productos propios.

ü Nivel 6. Registro de propiedad intelectual tanto de propiedad industrial (patentes, modelos de utilidad, etc.), como derechos de autor (documentos, software, etc.), tanto para productos como para procesos.

ü Nivel 7. Ingresos por venta de tecnología (regalías, licencias, etc.) de procesos y/o productos propios desarrollados.

Como antes se mencionó, en el concepto de tecnologías de los procesos de la escala anterior, es conveniente hacer énfasis que se deben considerar de manera importante los desarrollos en la digitalización de las actividades de las empresas (orientadas a incrementar la eficiencia en los procesos), debido a que en la actualidad se han dado grandes avances tecnológicos en ellas, particularmente en las tecnologías de la denominada industria 4.0, como son la inteligencia artificial, el cómputo en la nube, el Big Data, etc., las cuales en la escala ESIDET no son mencionadas por lo que se considera que no están suficientemente tomadas en cuenta en ella (Jaquez-Hernández & Torres, 2018; Lezama-Nicolás, Rodríguez-Salvador, Rio-Belver & Bildosola, 2018; Jaeger & Halse, 2017).

DISCUSIÓN

De los modelos que muestra la literatura para medir madurez o gestión tecnológica, se analizaron los principales empleados internacionalmente, que se clasificaron en tres categorías: los desarrolladas para hacer la medición de la madurez o disponibilidad tecnológica de un programa o proyecto (TRL); para evaluar el nivel de avance en la gestión tecnológica de las empresas individuales; y para evaluar el nivel de avance en la gestión tecnológica de las empresas en las encuestas masivas, en el cual se centra el análisis del presente trabajo.

Particularmente en función del objetivo del estudio, orientado a la medición de la madurez tecnológica en empresas a través de encuestas, se encontraron algunas inconsistencias en la sección referente a este punto dentro de la encuesta ESIDET levantada por el INEGI en México, mismas que cuestionan la validez del instrumento, como fueron:

a) Falta de univocidad. El número de respuestas es mayor al número de empresas, esta anomalía es debido al formato ofrecido y a la ambigüedad de las actividades en las preguntas, donde las empresas tienen la opción de responder en varios niveles de la escala, cuando en principio en una escala progresiva gradual, debió ser sólo uno unívoco determinado por el nivel máximo seleccionado por las actividades que se realizan. Este principio de asignar sólo un nivel a una tecnología, está presente en la escala de madurez tecnológica más reconocida internacionalmente que es la denominada TRL diseñada por la NASA (Mihaly, 2017), de igual forma en el modelo desarrollado por el centro de investigación canadiense INO (2012).

b) Falta de progresividad. Tiene inconsistencias en el orden de progresividad de los niveles. Asumiendo que la escala tiene una lógica progresiva, es incongruente que se tenga un número mayor de empresas en el nivel 3 que en el 2 en los tres casos de frecuencias. El análisis de correlación muestra esta inconsistencia. De la misma forma, esta inconsistencia no es congruente con la teoría de las escalas ordinales de Stevens (1946), antes mencionada, por romper con el principio del orden monótonamente creciente propio de las escalas ordinales.

c) Falta de universalidad. Igualmente, asumiendo que la escala es progresiva, en la frecuencia “nunca”, el número de empresas en el nivel 1 que son 35 712, es menor que las empresas de la muestra, que son 54 444, en 18 732 empresas, lo cual representa un 34.4% de empresas excluidas que no alcanzan el nivel 1, por lo que tendrían que ser de un nivel cero o negativo, lo cual hace que pierda su característica de generalización y aplicabilidad al conjunto de empresas.

Se considera que la raíz de estas inconsistencias se encuentra en la redacción de las actividades asociadas que componen los ítems propuestos en el ESIDET 2017 para definir un determinado nivel de madurez tecnológica en las empresas, de las cuales se hacen observaciones sobre el origen considerado de dichas inconsistencias.

Con estos elementos, se comprueba la hipótesis: Ha: La escala considerada por el INEGI en la encuesta ESIDET para medir la madurez tecnológica de las empresas presenta inconsistencias que le restan aplicabilidad, lo cual pone en tela de juicio la validez del instrumento para medir la madurez tecnológica de

las empresas de la encuesta ESIDET. Esto se comprobó con base en los tres puntos del apartado que enumera estas inconsistencias y las observaciones a la redacción de las actividades propuestas en esta encuesta.

De manera subsecuente, se analizan los aspectos factibles de mejora en esta sección de la encuesta, para en función de ellos hacer una propuesta de escala para medir, no el grado de madurez tecnológica de la empresa, sino el grado de madurez de su gestión tecnológica. Esta escala propuesta deberá ser unívoca, es decir cada empresa debe tener un solo nivel, así como progresiva con un ordenamiento lineal y lo más universal posible, en la inteligencia que una escala de este tipo debe ser perfectible y tan dinámica como es el avance de las tecnologías, por lo que será necesario revisarla y actualizarla continuamente, considerando que el tema de la madurez tecnológica se encuentra estrechamente relacionado a los cambios vertiginosos y disruptivos de las tecnologías.

CONCLUSIONES

De los resultados anteriores se pueden extraer las siguientes conclusiones de acuerdo a los objetivos específicos planteados.

1. Se muestra un panorama general resumido de los modelos internacionales orientados a evaluar el avance tecnológico desde tres diferentes perspectivas: i) evaluar la madurez tecnológica de los programas o proyectos; ii) evaluar a nivel de la empresa individual el avance en la gestión tecnológica; iii) evaluar a nivel de encuestas masivas el avance en la gestión tecnológica. Esta última perspectiva corresponde al de la encuesta ESIDET del INEGI, en la que se centra el análisis.

2. Del análisis a la encuesta ESIDET 2017, se encontraron inconsistencias en la escala para medir madurez tecnológica en las empresas que limitan su aplicabilidad, como fueron: no ser unívoca, falta de progresividad y de universalidad. Con estos elementos se comprueba la hipótesis planteada que afirma que esta escala presenta inconsistencias que le restan su aplicabilidad, cuestionando su nivel de validez como instrumento de medición.

3. En función de ello, se formulan ideas orientadas a una escala de siete niveles para medir el avance o madurez en la gestión tecnológica de las empresas en una encuesta, que debe ser inequívoca en cuanto a un sólo nivel correspondiente a cada una de las empresas, progresiva en cuanto exprese sólo el nivel máximo alcanzado y universal, que considere el máximo cercano a la totalidad de empresas. En esta escala propuesta se pretende armonizar la tecnología tanto de productos como de procesos e incluir una actualización de las últimas tecnologías al considerar las tecnologías basadas en la digitalización de los procesos.

Como conclusión general se puede decir que en función de las inconsistencias detectadas en la escala ESIDET, se identificaron los principales elementos que debe contener una escala para medir el nivel en el avance o madurez de la gestión tecnológica de las empresas, los cuales se expresan en la escala propuesta, que es la principal aportación del presente estudio. Cabe observar que esta escala propuesta es válida para cualquier región o país dado que la tecnología es un recurso común a todos ellos, particularmente en nuestro mundo cada vez más globalizado e hipercomunicado a través de Internet.

Las principales limitaciones provienen del hecho de haber considerado sólo la encuesta ESIDET, levantada en México y dentro de ella la muestra seleccionada por el INEGI de empresas con más de 20 trabajadores, lo cual excluye las encuestas levantadas en otros países y a empresas mexicanas de base tecnológica con menos de 20 trabajadores con potencial de crecimiento, como es el caso de las empresas “Gacelas” o las “Spin-off” o emergentes derivadas de proyectos de investigación. Otra limitación es que se consideró dentro de la encuesta ESIDET solamente la sección correspondiente a la medición de la madurez tecnológica en las empresas.

Las principales implicaciones son: i) en el ámbito práctico la de proporcionar los elementos para que pueda ser corregida y reorientada la escala del INEGI para que a través de ella se pueda ofrecer una mejor información sobre la madurez de la gestión tecnológica de las empresas en México; ii) la escala propuesta puede ser útil para que de manera individual las empresas conozcan el nivel de madurez de su gestión

tecnológica; iii) en el ámbito teórico el haber hecho una contribución a las teorías sobre la medición de la madurez tecnológica en las empresas.

Por otra parte, dentro del tema del presente estudio, se considera conveniente como investigación futura, tomar en cuenta dentro de los conceptos de la gestión tecnológica de las organizaciones aspectos relacionados a la sostenibilidad, en congruencia con los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización de la Naciones Unidas (Quintanilla, Parselis, Sandrone, & Lawler, 2017).

Las posibilidades de desarrollar sistemas de evaluación a través de escalas ordinales lineales como la propuesta del presente estudio, en otros ámbitos administrativos, son importantes y necesarias debido a la subjetividad con la que se hacen con frecuencia las evaluaciones del avance de algunos temas. Por ejemplo, en el caso de la responsabilidad social de las empresas (RSE), no existe una escala de este tipo para evaluar el grado de avance de una empresa en cuanto al cumplimiento de sus responsabilidades vis a vis los grupos de interés con los que se relaciona y el medio ambiente. Cabe notar que, el reconocimiento que actualmente se hace en México sobre este tema es con base en una autoevaluación de la empresa.

Otro ejemplo de la posible aplicación de una escala ordinal lineal como la propuesta, a un nivel macro, podría ser para medir el cumplimiento de cada uno de los 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS), de la agenda 2030 de la ONU, a nivel de país, región o entidad federativa. Dicho proyecto sería de alta complejidad pero que valdría la pena dada la gran relevancia que tiene para el futuro de la humanidad el avance global en estos grandes objetivos para el año 2030, disminuyendo de esta forma la subjetividad en su evaluación, la cual se considera puede ser el mayor obstáculo en el conocimiento del avance real por cada uno de los países o regiones de estas importantes metas comprometidas, que en buena medida están determinando el desarrollo de la humanidad en su conjunto.

Contribuciones de los autores: Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Metodología, Redacción del borrador original, Juan Óscar Ollivier Fierro; Investigación, Validación, Pedro Javier Martínez Ramos; Redacción de revisión y edición, Isidro Domínguez Alcaraz. Para su realización, no se recibió financiamiento externo a la universidad UACh, se llevó a cabo dentro de las actividades académicas de los autores que son profesores de la misma.

REFERENCIAS

- Acuña, C. & Castillo, M. (2018). Barreras a la innovación no-tecnológica: efectos sobre el desempeño empresarial en una economía emergente. *Contaduría y Administración*, 63(3), 1-24. 10.22201/fca244884110e2018.1383
- Albert, T. (2016). *Medición de la madurez de la tecnología: aspectos teóricos*. Springer. <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomíaIndustrial/RevistaEconomíaIndustrial/393/NOTAS.pdf>
- Barreras, I., Parra, D., Lopez, R. & Torres, J. (2015). La innovación, competitividad y desarrollo tecnológico en las MIP y ME's del municipio de Angostura, Sinaloa. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(3), 603-617. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000300013
- Bastida, Y. & Torres, D. (2019). Medición de la competitividad tecnológica. Caso departamento de Bolívar en Colombia. *Congreso Internacional de Tecnología, Ciencia y Sociedad*. Lisboa, Portugal. <https://conferences.eago.ra.org/index.php/tecnosoc/tech2019>
- Bell, M. & Pavitt, K. (1995). The development of technological capabilities. En Haque *Trade, Technology and international competitiveness*, EDI World Bank, pp. 69-102.
- Benhayoun-Sadafiyine, L. (2017). *La capacité d'absorption des PME intégrées dans des réseaux d'innovation collaboratifs: évaluation à travers une grille de maturité*. [Tesis doctoral, Université de Grenoble]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel01689138/file/>

- Bernal, R. (2016). *Propuesta de un marco axiológico para la evaluación de un desarrollo tecnológico. El proyecto del tren de alta velocidad México-Querétaro.* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña]. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/105827/TRJBP1de1.pdf>
- Carballo-Mendivil, B., Arellano-González, A. & Ríos-Vázquez, N. (2019). Madurez de procesos en pequeñas empresas manufactureras en México. *Revista EAN* (86), 185-206. <https://doi.org/10.21158/01208160.n86.2019.2301>
- CONACYT. (2015). *Etapas de maduración tecnológica, según metodología "Technology Readiness Level" de la NASA.* FIT, CONACYT, Secretaría de Economía. <https://www.mincetur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/393/NOTAS.pdf>
- Cuadros, A., Morales, J. & Rojas, A. (2017). Propuesta metodológica para medir el nivel de madurez de la gestión de proyectos en empresas de ingeniería. *Revista EIA* (27), 85-95. <https://doi.org/10.24050/reia.v14i27.808>
- DoE. (2010). *Technology Readiness Assessment (TRA)/ Technology Maturation Plan (TMP).* Process Guide US Department of Energy. https://www.energy.gov/sites/prod/files/em/Volume_I/O_SRP.pdf
- ESA. (2008). *Technology Readiness Levels Handbook for Space Applications.* TRL Handbook issue 1 revision 6 TEC-SHS/5551. https://artes.esa.int/sites/default/files/TRL_Handbook.pdf
- ESIDET-INEGI. (2017). *Encuesta Nacional sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico.* INEGI. <https://www.inegi.org.mx/programas/esidet/2017/>
- Estrada, S., Cano, K. & Aguirre, J. (2019). ¿Cómo se gestiona la tecnología en las pymes? Diferencias y similitudes entre micro, pequeñas y medianas empresas. *Contaduría y Administración*, 64(1), 1-21. <https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2019.1812>
- European Commission. (2014). *Technology readiness levels (TRL). Horizon 2020 Work Programme 2015. Commission Decision C(2014)4995.* European Commission. https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-ga_en.pdf
- Fong, C. (2017). El cambio tecnológico y otros factores que soportan la ventaja competitiva. En C. Fong, *Competitividad e internacionalización de la PyME en México Análisis sectorial y empresarial* pp. 109-140. Universidad de Guadalajara. <https://n9.cl/j14i>
- González, A., Martínez, A. & Leal, M. (2017). La innovación y su impacto en la competitividad de las pequeñas y medianas empresas (Pyme). *Congreso RIICO.* Guadalajara, Jalisco. Universidad de Guadalajara. http://www.ccea.udg.mx/sites/default/files/documentos/adjuntos_pagina/libro_electronico_riico2017.pdf
- González, C., Muñoz, M. & Yepes, C. (2015). Metodología para evaluar la madurez de la gestión del conocimiento en algunas grandes empresas colombianas. *Tecnura*, 19(43), 20-36. <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.1.a01>.
- Hashi, I. & Stojcic, N. (2013). The impact of innovation activities on firm performance using a multi-stage model. Evidence from the CIS4. *Research Policy*, 42(2), 353-366. [10.1016/j.respol.2012.09.011](https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.09.011)
- INO (2012). *Measuring Technology Readiness to improve Innovation Management.* INO. http://www.ino.ca/Documents/publications/scientifiques/Deutch_Measuring technology readiness to improve innovation management.pdf
- Jaeger, B. & Halse, L. (2017). The IoT technological maturity assessment scorecard : A case study of norwegian manufacturing companies . *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems.* 513 pp. 143-150. Springer Cham.
- Jaquez-Hernández, M. & Torres, V. (2018). Modelos de evaluación de la madurez y preparación hacia la industria 4.0: una revisión de literatura. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 6(20), 61-78. <https://www.redalyc.org/journal/2150/215057003004/html/index.html>
- Jasso, J. (1999). La madurez tecnológica en la industria petroquímica mundial. *Revista de la CEPAL*(69), 119-137. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/12192-la-madurez-tecnologica-la-industria-petroquimica-mundial>
- Jasso, J. (2004). Trayectoria tecnológica y ciclo de vida de las empresas. Una interpretación metodológica acerca del rumbo de la innovación. *Contaduría y Administración* (214), 83-96. [10.22201/fca.24488410e.2004.469](https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2004.469)

- Lall, S. (1992). Technological capabilities and industrialisation. *World Development*. 20(2), 165-186. [https://doi.org/10.1016/0305-750X\(92\)90097-F](https://doi.org/10.1016/0305-750X(92)90097-F)
- Levi, FW. (1942). *Grupos Ordenados*. Actas de la Academia de Ciencias de la India 16. No 256. <https://doi.org/10.1007/BF03174799>
- Lezama-Nicolás, R., Rodríguez-Salvador, M., Rio-Belver, R. & Bildosola, I. (2018). A Bibliometric method for assessing technological maturity: the case of additive manufacturing. *Scientometrics*, 117(3), 1425-1452. 10.1007/s11192-018-2941-1
- Löfsten, H. (2016). Nuevas empresas de base tecnológica y su supervivencia: la importancia de las redes empresariales y el comportamiento empresarial y la competencia. *Economía Local*, 31(3), 393-409. 10.1177/0269094216637334
- López, C. & Hurtado, F. (2017). Estudio del estado del arte de metodologías y modelos para la determinación del nivel de madurez de gestión y dependencia de TI en organizaciones de todo tipo. *Revista Nexus Científicos*, 1(1), 1-12. <https://n9.cl/p0asr>
- Malleuve, A., Robaina, D. & Stuart, M. (2015). Una aproximación hacia la evaluación del nivel de madurez de la arquitectura empresarial. *Ingeniería Industrial*, VI(3), 33-42. <https://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/352/pdf>
- Manzanarez, J. & Gilabert, M. (2015). William Thomson (Lord Kelvin). *Revista española de física* 29(3), 60-69. <https://n9.cl/rqpps>
- Martynyuk, O. (2017). Methodology for Diagnostics of the Company Management and Technological Maturity. *Montenegrin Journal of Economics*, 13(4), 31-42.
- Mihaly, H. (2017). From NASA to EU: The evolution of the TRL scale in Public Sector Innovation. *The Innovation Journal*(22), 1-23. <https://core.ac.uk/download/pdf/94310086.pdf>
- Montañez-Carrillo, L. & Lis-Gutiérrez, J. (2017). Knowledge Management Maturity Models. Facultad de Ciencias Económicas: *Investigación y Reflexión*, 25(2), 63-81. <http://dx.doi.org/10.18359/rfce.3069>
- Nemessany, V. (2015). Etablissements publics de recherche-entreprises. Comment se construisent les relations d'approche et de maturation technologique? En J. Lesourne, & D. Randet, *La Recherche et l'Innovation en France*. Futuris.
- Nolasco, P. & Ojeda, M. (2016). La evaluación de la integración de las TIC en la educación superior fundamento para una metodología. *Revista de Educación a Distancia* (48), 1-20. <https://revistas.um.es/red/article/view/253511>.
- Ollivier, J., Domínguez, I., Santini, V. & Armendariz, J. (2020). Public Policies in the Development of Renewable Energies in Spain in the XXI Century. *Journal of Business and Economics*, 11(4), 410-419. 10.15341/jbe(2155-7950)/04.11.2020/003
- Ollivier, J., Martínez, H. & Álvarez, J. (2018). La innovación en empresas de los sectores industrial y de servicios. *Nova Rua*, 8(15), 9-25. 10.20983/novarua.2017.15.1
- Parasuraman, A. & Colby, C. (2015). An Updated and Streamlined Technology Readiness Index. TRI 2.0. *Journal of Service Research*, 18(1), 59-74. 10.1177/1094670514539730.
- Pérez, C. (2001). *Cambio tecnológico oportunidades de desarrollo como blanco móvil*. Comisión Económica para América latina y el Caribe CEPAL. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/34861/1/S2001538_es.pdf
- PNTI (2020). *Modelo del premio nacional de tecnología*. México: Fundación del premio nacional de tecnología AC. <https://pnt.org.mx/modelo-nacional-de-gestion-de-tecnologia/>
- Quintanilla, M., Parselis, M., Sandrone, D. & Lawler, D. (2017). *Tecnologías Entrancables. ¿Es posible un modelo alternativo de desarrollo tecnológico?*. Ed. Organización de Estados Iberoamericanos, Catarata. https://www.catara.org/libro/tecnologias-entrancables_46463/
- Robledo, J. (2017). *Introducción a la Gestión de la Tecnología y la Innovación*. Universidad Nacional de Colombia. <https://minas.medellin.unal.edu.co/centro-editorial/cuadernos/introduccion-a-la-gestion-de-la-tecnologia-y-la-innovacion>

- RICYT / OEA (2001). *Normalización de indicadores de innovación tecnológica en America Latina y el Caribe*. Manual de Bogotá. RICYT / OEA. <https://n9.cl/rq0sa>
- Stevens, S. (1946). On the Theory of Scales of Measurement. *Science*, 103(2684), 677-680. <http://www.jstor.org/stable/1671815>
- Sumanth, D. & Sumanth, J. (1996). Managing the "Technology Gradient" for Global Competitiveness. En Gaynor, *Handbook of Technology Management*. McGraw-Hill. <https://es.scribd.com/document/355667394/Handbook-of-Technology-Management-Gaynor>
- Tavizon, A., Gonzalez, C. & Guajardo, L. (2018). Nivel de la madurez de la gestión de la innovación en las empresas de telecomunicaciones que operan en México. *Vinculatéctica, EFAN*, 5(2), 625-637. <https://n9.cl/f0e7z>
- Terán, A., Davila, G. & Castañón, R. (2019). Gestión de la tecnología e innovación: un Modelo de Redes Bayesianas. *Economía Teoría y Práctica* (50), 63-100. <http://www.scielo.org.mx/pdf/etp/n50/2448-7481-etp-50-63.pdf>
- Tiers, G., Mourmant, G. & Leclercq-Vandelannoitte, A. (2013). L'envol vers le Cloud: un phénomène de maturations multiples. *Systèmes d'information & management*, 18(4), 7-42. <https://doi.org/10.3917/sim.134.0007>
- Viejo, M. & Naranjo, A. (2018). Elaborar un guión de auditoría para evaluar la madurez de la gestión de servicios de TI basados en ITIL en empresas petroleras del sector público. *Repositorio Universidad de Especialidades Espíritu Santo*. <http://repositorio.uees.edu.ec/123456789/2540>
- Villareal, E. & Santamaría, E. (2016). *Índice Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación*. INCTI-CAIINNO 2015. <http://ru.iiec.unam.mx/id/eprint/3422>

NOTAS

[1]En matemáticas , específicamente en álgebra abstracta , un grupo linealmente ordenado o totalmente ordenado es un grupo G equipado con un orden total " \leq " que es invariante en el traslado, se dice que (G, \leq) es un grupo ordenado por la izquierda si $a \leq b$ implica $c + a \leq c + b$ para todo a, b, c en G (Levi, 1942)

[2] Los seis niveles se describen adelante en la sección de análisis de la escala ESIDET

INFORMACIÓN ADICIONAL

Clasificación JEL: M15, O14, O18