

Descripción de un marco de referencia para la implantación de industria 4.0 en la ciudad de Medellín a partir de las capacidades productivas existentes y potenciales y la validación de un instrumento de diagnóstico empresarial

Camila Ramírez Zapata

Trabajo de grado para optar al título de maestría en ingeniería

Asesor

PhD, Álvaro de Jesús Guarín Grisales

Universidad EAFIT
Escuela de ingeniería
Medellín
2020

Agradecimiento

Agradezco a la universidad EAFIT y al municipio de Medellín a través de SAPIENCIA por financiar esta investigación, al profesor asesor, a los miembros del grupo de investigación por su apoyo y a todas las demás personas involucradas que permitieron llevar a cabo este proyecto.

Resumen

Esta investigación es un proyecto financiado por la escuela de ingeniería de la Universidad EAFIT; El objetivo es describir un marco de referencia que permita realizar un diagnóstico sistemático para orientar la implantación del paradigma de Industria 4.0 en la ciudad de Medellín. El marco de referencia se propone en dos etapas sucesivas. La primera busca indagar a partir de los objetivos de industria 4.0 y bajo la teoría de la complejidad económica cuáles son los productos y/o sectores en los que es conveniente direccionar una transformación hacia el paradigma de industria 4.0 y la segunda busca validar un instrumento de medición que permita evidenciar el estado de las empresas grandes manufactureras de la ciudad frente a los objetivos del paradigma como punto inicial para la transformación. En el desarrollo se pueden identificar debilidades como el atraso en las dinámicas de personalización de productos y flexibilización de la producción y fortalezas como la infraestructura IT y OT en las empresas grandes de la ciudad, también se revelaron oportunidades en sectores como el de transporte y maquinaria que invitan a realizar esfuerzos conjuntos y enfocados en el fortalecimiento de las cadenas de valor y la diversificación productiva que permitan aumentar la competitividad en las industrias de la ciudad de Medellín.

Palabras clave: Industria 4.0, ventaja comparativa revelada, instrumento de diagnóstico, sector económico, Medellín.

Abstract

This research is a project funded by the engineering school of the EAFIT University; The objective is to describe a frame of reference that allows a systematic diagnosis to guide the implementation of the Industry 4.0 paradigm in the city of Medellín. The frame is proposed in two successive stages. The first seeks to investigate from the objectives of industry 4.0 and under the theory of economic complexity which are the products and / or sectors in which it is convenient to direct a transformation towards the industry 4.0 paradigm and the second seeks to validate an instrument of measurement that allows to demonstrate the state of the big manufacturing companies of the city against the objectives of the paradigm as a starting point for transformation. In the development we can identify weaknesses such as the backwardness in the dynamics of product customization and flexibility of production and strengths such as the IT and OT infrastructure in large companies in the city, opportunities were also revealed in sectors such as transport and machinery that invite joint efforts focused on strengthening value chains and productive diversification that allow increasing competitiveness in the industries of the city of Medellín.

Keywords: Industry 4.0, revealed comparative advantage, diagnostic instrument, economic sector, Medellín.

Tabla de Contenido

Introducción.....	7
1. Estructura metodológica.....	13
1.1 Preguntas de investigación.....	15
1.2 Objetivos del estudio	16
1.3 Motivaciones.....	18
1.4 Restricciones del estudio	18
2. Revisión de la literatura.....	20
2.1 Antecedentes de la industria 4.0	21
2.1.1 Actualidad económica ¿Dónde nos encontramos hoy?.....	31
2.2 Definición de industria 4.0.....	32
2.2.1 Objetivos de la industria 4.0.....	34
2.2.2 fábricas inteligentes	37
2.2.3 Tecnologías habilitadoras	40
2.3 La captura de valor: Las nuevas perspectivas de industria 4.0.....	48
2.3.1 La complejidad económica.....	50
2.3.2 La ventaja comparativa revelada	53
2.3.3 Diversificación y ubicuidad.....	54
2.4 Proyectos de consolidación de industria 4.0.....	56
2.4.1 Plataformas tecnológicas	57
2.4.2 Proyectos de investigación	58
2.4.3 Iniciativas gubernamentales en industria 4.0.....	60
2.4.4 Modelos de diagnósticos transversales.....	70
2.5 La industria en Medellín	71
2.5.1 Estructura productiva de la oferta industrial en Medellín	72
2.5.2 Iniciativas relacionadas a la estructura industrial en Medellín.....	74
2.6 Consideraciones finales	76
3. Metodología	77
3.1 Reconocimiento de oportunidades de diversificación derivadas de las capacidades existentes.....	79

3.1.1	Aplicación del método de reflexiones	80
3.1.2	Definición de rankings de oportunidades	82
3.1.3	Variables atlas de la complejidad económica.....	83
3.1.4	Normalización de indicadores	85
3.1.5	Definición de estrategias temporales.....	86
3.1.6	Oportunidades de diversificación productiva para Medellín.....	87
3.2	Metodología de propuesta de instrumento de diagnóstico para evaluación de empresas en industria 4.0.....	88
3.2.1	Revisión de iniciativas de diagnóstico transversales en industria 4.0	89
3.2.2	Consideraciones generales sobre los instrumentos.....	94
3.2.3	Instrumento de evaluación.....	96
3.2.4	Evaluación conceptual del instrumento.....	114
3.2.5	Metodología de aplicación del instrumento.....	115
4.	Resultados de la investigación	119
4.1	Reconocimiento de oportunidades de diversificación derivadas de las capacidades existentes.....	119
4.1.1	Análisis del Método de reflexiones	119
4.1.2	Resultados de las estrategias de diversificación productiva.....	122
4.1.3	Oportunidades de diversificación productiva.....	126
4.2	Resultados instrumento de diagnóstico.....	128
4.2.1	Evaluación general por áreas de análisis	128
4.2.2	Evaluación general por subáreas de análisis.....	129
4.2.3	Evaluación por ítems del cuestionario.....	130
4.2.4	Evaluación por empresas	131
5.	Discusión de los resultados	134
5.1	Sub pregunta tres	134
5.2	Sub pregunta cuatro	137
5.3	Pregunta de investigación uno	140
6.	Conclusiones	143
7.	Bibliografía.....	151
8.	Anexos.....	157

Introducción

La historia ha hecho de la industria el gran motor de la sociedad que hoy conocemos y los avances tecnológicos gestados en el ambiente industrial han acercado a nosotros la sociedad planteada en los libros de ciencia ficción.

Contrario a lo que fue a inicios del siglo XX, la realidad hoy en la ciudad de Medellín revela que el sector manufacturero afronta altas tasas de desempleo y el cierre o reestructuración de plantas estimulada por diversos factores (Florez, L. & Misas, 2008; Melendez & Perry, 2010; Rodrik, 2014). Sin embargo sigue existiendo una estructura y tradición productiva que permite creer que una industria moderna es posible mediante el apalancamiento que ofrece la tecnología.

El esfuerzo de encaminar a la ciudad hacía el fortalecimiento industrial requiere de estudios que permitan visibilizar la realidad y proponer líneas de acción. Así lo hicieron la mayoría de regiones que, en un momento determinado, empezaron a crecer de manera sostenida, gracias a cambios en su estructura productiva, la reconversión de su industria y la diversificación de su economía (Jutglar, 1999).

Esta transformación se hizo posible gracias a esfuerzos conjuntos que propiciaron la reasignación sectorial de los recursos productivos al impulsar industrias y la dotación de sus factores. En otras palabras, el desarrollo regional tiene más que ver con su potencial para moverse al interior de la frontera tecnológica que con la generación de innovaciones tecnológicas que contribuyan al desplazamiento de dicha frontera (Chang, 2002).

En el nuevo contexto dónde la industria ya no es entendida como un medio de producción simple y se enmarca en la cuarta revolución industrial, es válido preguntar ¿Qué podemos hacer?, ¿Cómo podemos beneficiarnos de la industria 4.0?; también podemos profundizar en la estructura productiva de la ciudad, ver hacia las empresas e indagar acerca de ¿qué tan alineadas están las acciones de nuestras empresas con las propuestas por el paradigma 4.0?.

A partir de estas preguntas, en este trabajo de tesis se plantea describir el evento, que es en este caso el paradigma de industria 4.0 dentro del contexto de la ciudad de Medellín y su área metropolitana, para caracterizar los rasgos específicos de la región y establecer un marco de referencia para futuros estudios en dos vías: la primera se centra en un análisis sobre las capacidades productivas existentes y potenciales de la economía para revelar oportunidades de adopción del paradigma de industria 4.0 a partir de la diversificación productiva. La segunda busca describir y validar un instrumento de diagnóstico sectorial, que permita evaluar a través de diferentes áreas de análisis que tan alineadas están siendo las acciones de las compañías con las que propone el paradigma de una empresa 4.0.

El documento está integrado por 8 capítulos dónde en el primero se establece la estructura metodológica, que incluye el tipo de estudio, las preguntas de investigación y los objetivos, las motivaciones y las restricciones que tiene para llevarse a cabo.

En el segundo se presenta una revisión de la literatura, que pretende responder a la preguntas de ¿qué es la industria 4.0?, ¿por qué se considera un paradigma?, ¿cuáles son sus antecedentes? y establecer una caracterización a través de sus objetivos y proyectos de consolidación alrededor del mundo. También en este apartado se pretende revisar la estructura productiva de la ciudad a partir de estudios previos y determinar cuáles han sido

las iniciativas que han surgido para el desarrollo industrial y el fortalecimiento del tejido empresarial.

El tercer capítulo es el metodológico; en éste se establece un paso a paso para construir el marco de referencia en las dos direcciones propuestas anteriormente. En primer lugar se describe la metodología basada en la teoría de la complejidad económica que busca el reconocimiento de oportunidades de diversificación a partir de la aplicación del método de reflexiones (MR), la definición de rankings de oportunidades y la definición de estrategias temporales para determinar oportunidades de diversificación. En segundo lugar se establece una metodología que propone el instrumento de medición como adaptación de otros desarrollados en diferentes países para evaluar las industrias locales. En este apartado se plantea la aplicación de una prueba piloto en empresas grandes de la ciudad, se define la muestra y el formato del instrumento como un cuestionario web y se presenta un protocolo para su aplicación y ponderación.

La sección número cuatro es la de resultados, dónde se exponen los derivados de la metodología, esta sección responde a las dos preguntas planteadas en la sección anterior dónde en la primera se consolida el método de reflexiones (MR), se enumeran las listas de las estrategias de diversificación y se establecen las oportunidades de diversificación. En la segunda parte que se corresponde con la segunda parte metodológica se muestran los resultados del instrumento de diagnóstico por áreas de análisis, sub áreas de análisis, ítems del cuestionario y por empresas.

La discusión de los resultados se presenta en el capítulo cinco, dónde se argumentan los resultados a la luz de las preguntas y se destacan los principales hallazgos del estudio. Para finalizar se presenta una sección de conclusiones, donde se recapitulan algunos

hallazgos asociados al desarrollo y se presentan algunas reflexiones, luego se listan las fuentes bibliográficas en el capítulo 7 y se finaliza con los anexos en la sección 8.

Abreviaciones:

VCR: Ventaja comparativa revelada

IoT :Internet de las Cosas

CPS: Sistemas Ciberfísicos

TIC: Tecnologías de la Información y Comunicación

DFKI: Centro alemán de Investigación en Inteligencia Artificial

NSF I/UCRC: Centros de Investigación Cooperativa Industrial/Universidad de la

Fundación Nacional de Ciencias

OEE: Eficiencia General de los Equipos

IFR: Federación Internacional de Robótica

CAD: Diseño Asistido por Computadora

MES: Manufacturing Execution System

MOM: Manufacturing Operations Management

ERP: Enterprise Resource Planning

IT: Information technology

PLM: Product life cycle

RCA: Radio Corporation of America

PDC: Payment Card Industry Data Security Standard

1. Estructura metodológica

Este trabajo de tesis parte de un escenario en el que el paradigma de industria 4.0 se encuentra ampliamente vigente, difundido y se presenta como una opción para la inserción y el apalancamiento de las economías locales en las cadenas globales de valor (Popkova, 2019).

Son muchas las ventajas que promete el cambio impulsado desde los países desarrollados, sin embargo, no existe un panorama claro de cómo se podría adoptar de una manera conveniente el paradigma que permita generar un impacto positivo en el PIB industrial. Esto requiere de esfuerzos eficientes, oportunos y precisos que direccionen los recursos hacia oportunidades en sectores, subsectores y productos específicos.

La investigación se estructura metodológicamente bajo el enfoque teórico de investigación descriptivo propuesto por Hurtado (1998) y se enmarca en un nivel de complejidad de tipo perceptual, es decir que alude a la descripción o caracterización dentro de un contexto particular a través de la medición de diversos factores o aspectos en el evento investigado, como se muestra ilustrado en la Figura 1 (Hurtado, 1998). En este caso el evento se refiere a la implantación del paradigma industria 4.0 en la ciudad de Medellín y los factores o aspectos investigados son las posibilidades de diversificación productiva a partir de las capacidades existentes y potenciales y el nivel de implantación del paradigma en las empresas grandes manufactureras de la ciudad.

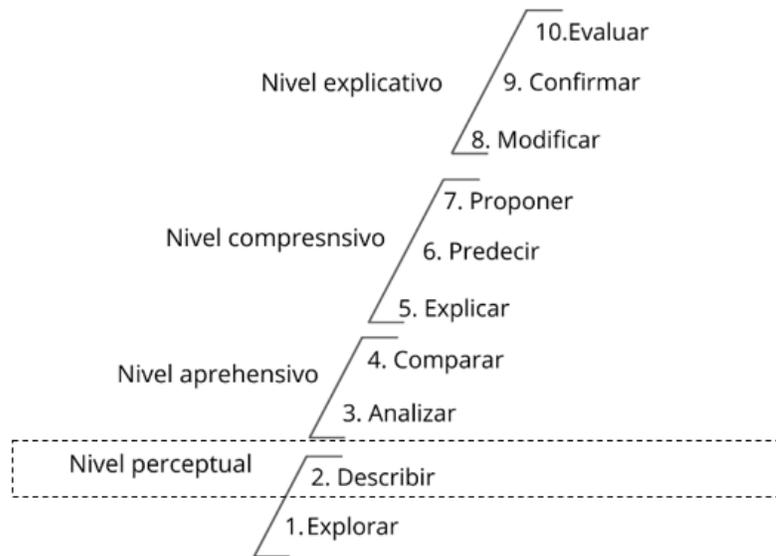


Figura 1 Jerarquía de la taxonomía de Bloom. Fuente: adaptación a partir de McIntyre, A. (2007). *Participatory action research*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, Inc

Teniendo en cuenta este nivel de complejidad, se usó el método de Estudio de Mapeo Sistemático (SMS) (Petersen et al., 2008) que involucra un proceso de tres fases ilustrado en la Figura 2.

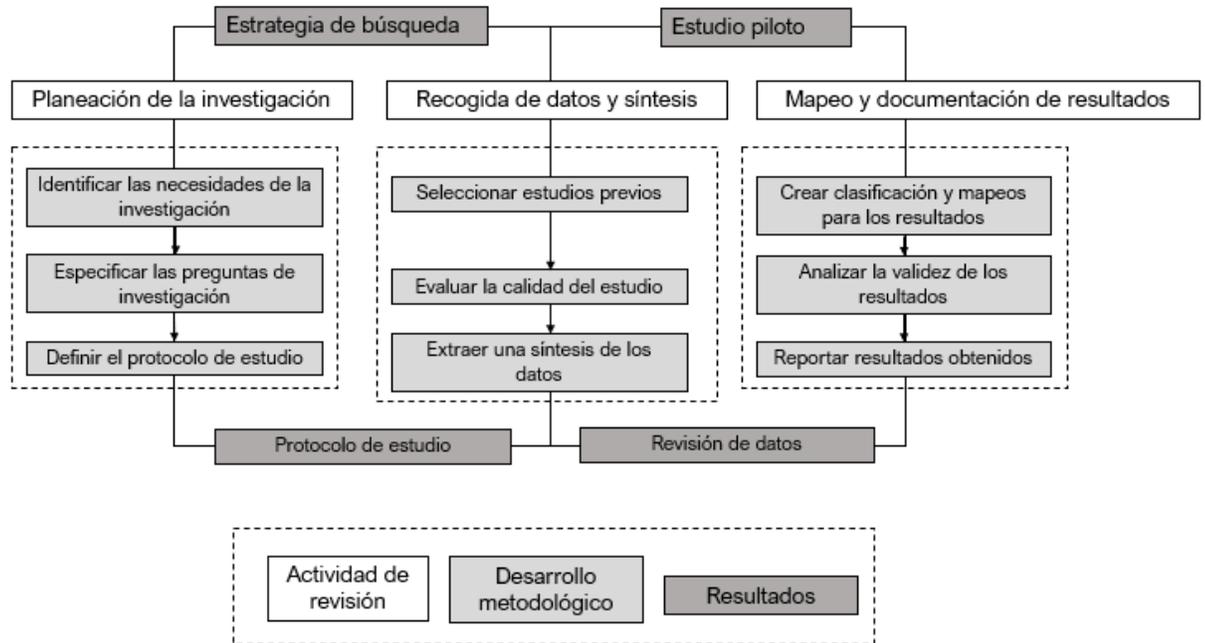


Figura 2 Estudio de Mapeo Sistemático (SMS) . Fuente: Adaptado de Petersen et al., 2008 An overview of the research methodology for mapping study

Las fases en las que se basa la metodología son: planeación de la investigación, recogida de datos y síntesis y mapeo y documentación de resultados. Un enfoque sistemático reduce el campo de acción de la investigación mediante la selección, la síntesis y el reporte de resultados.

1.1 Preguntas de investigación

Las necesidades de la investigación parten del contexto descrito anteriormente, dónde no existe un consenso de cómo podría adoptarse en Medellín el paradigma de Industria 4.0. Como segundo paso de la planeación se precisa especificar las preguntas de investigación. Se han formulado preguntas cuyas respuestas apoyan una exploración objetiva del tema, específicamente las preguntas tienen como objetivo investigar los siguientes aspectos: definición de industria 4.0, priorización de oportunidades e instrumentos de medición de industria 4.0.

De acuerdo con esto se ha formulado una pregunta general (P1) y tres subpreguntas de apoyo (P2, P3, P4) en el orden de completar la respuesta del primer interrogante y generar análogamente objetivos que puedan responder a ellas.

P1: ¿Cómo podría Medellín adoptar las oportunidades del paradigma industria 4.0 basado en sus capacidades productivas y medir la implantación del paradigma en las empresas grandes de la ciudad?

P2: ¿Qué es la industria 4.0 ?

P3: ¿Cuáles son las oportunidades concretas de diversificación productiva de mediana o alta tecnología factibles en el corto, mediano y largo plazo identificadas a partir de las capacidades productivas existentes y potenciales en la ciudad de Medellín?

P4: ¿Cómo se podría describir y validar un instrumento de evaluación que pueda utilizarse para medir la situación de las empresas manufactureras clasificadas como grandes respecto los objetivos propuestos por el paradigma Industria 4.0 en la ciudad de Medellín?

1.2 Objetivos del estudio

Para dar respuesta a las preguntas planteadas y teniendo en cuenta el enfoque de investigación descriptivo se plantean los objetivos siguiendo los diferentes niveles de elaboración para este tipo de investigación descritos en la Figura 3 siguiendo a Hurtado (1998).

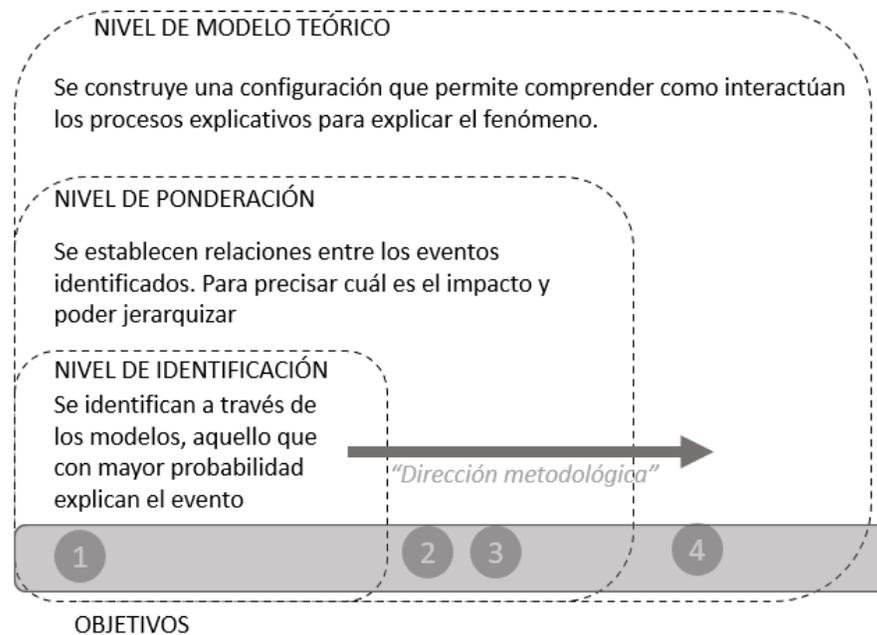


Figura 3 Niveles de elaboración de la investigación descriptiva y objetivos. Fuente: adaptación de "Herramientas de investigación holística" Hurtado, 1998

De esta manera se define el objetivo general como:

“Describir y validar un marco de referencia apoyado en la teoría que oriente la implantación del paradigma de Industria 4.0 en la ciudad de Medellín mediante la identificación de subsectores con alto potencial productivo según capacidades de la región y el diseño y la validación de un instrumento de diagnóstico para medir el nivel de implantación del paradigma industria 4.0 en diversas áreas de análisis en empresas manufactureras clasificadas como grandes”.

Teniendo este objetivo claro se establecen los siguientes objetivos específicos:

- 1) Caracterizar conceptualmente la Industria 4.0, identificando sus antecedentes, objetivos, características principales y tipos de iniciativas relevantes.

2) Reconocer oportunidades de adopción del paradigma de industria 4.0 para Medellín, en productos de mediana y alta complejidad tecnológica, derivadas de las capacidades existentes y potenciales que posee la ciudad frente al resto del país en el corto, mediano y largo plazo con base en la teoría de la complejidad económica.

3) Describir un instrumento de diagnóstico, que evalúe las capacidades de transformación productiva en diferentes áreas de análisis dentro de la compañía.

4) Validar el instrumento propuesto en empresas manufactureras clasificadas como grandes en la ciudad de Medellín

1.3 Motivaciones

La primera motivación conectada con el objetivo general fue la integración del paradigma industria 4.0 a la estructura industrial de la ciudad de Medellín, el cuál presenta muchos retos. La segunda fue describir a través de un instrumento cuál es el nivel de implantación del paradigma agrupado en diversas dimensiones empresariales como mecanismo que permita sentar bases en programas de política pública y apalancamiento industrial. La última consistió en la prueba del instrumento en empresas para visibilizar en los resultados el alcance y la calidad del mismo.

1.4 Restricciones del estudio

Este apartado se realiza para que el lector de este documento tenga claro en contexto en que se realizó este trabajo y pueda efectuar una comprensión de los límites bajo los cuales se desarrolló el proyecto.

La primera restricción para este trabajo se considera el factor tiempo, debido a que este proyecto se enmarca dentro de un trabajo de maestría el cual tiene como duración 2 años,

donde se debe ajustar a tiempos institucionales, gestión administrativa, disponibilidad de los empresarios y cronogramas. La segunda limitación nace de que es un proyecto a cargo de una persona y dado que es un tema en el que convergen diferentes ejes temáticos como la vigilancia tecnológica, la economía y la ingeniería industrial se busca integrar diferentes teorías y modelos para llegar a una descripción que se acomode al contexto local y suministre material teórico y metodológico de base para estudios posteriores.

2. Revisión de la literatura

Esta sección proporciona conocimiento apoyado en la literatura académica para el desarrollo de la metodología del estudio, se intentará llevar al lector de lo macro hacía las particularidades de la investigación.

En el presente existe mucha información invitando a explorar y adquirir lo que la industria 4.0 tiene para ofrecer, sin embargo en muchas ocasiones expresión es usada sólo como un discurso; incluso en el ámbito científico es cuestionable su uso (Lasi et al. 2014).

Para abordarlo, es necesario conceptualizar la industria 4.0, valiéndose de su palabra raíz dónde se le puede llamar “cuarta revolución industrial” es decir una revolución que ha transformado la manera de “producir” en el mundo y ha introducido cambios importantes en los modelos industriales y toda su cadena de valor.

Ninguna de las cuatro revoluciones industriales se han gestado en Colombia, ni siquiera en América Latina, de echo existe una discusión que pretende responder si realmente la región a atravesado estos momentos diferenciados entendiendo que el mundo no es homogéneo y por tanto la difusión de estos sucesos (Lasi et al. 2014).

Por lo anterior es imperante revisar el contexto de la región para la implementación de la industria 4.0 ya que Colombia y específicamente Medellín es un lugar con una naturaleza geográfica, económica, política y social diferente al entorno dónde se gestó el concepto.

2.1 Antecedentes de la industria 4.0

Para comenzar es importante saber que es la revolución industrial y que aspectos son importantes en ella, además conocer la división histórica y su altísima influencia económica, que han determinado su impacto en la región, retrasado y menos convulsionado que en los países donde inició.

La expresión revolución industrial representa el conjunto de cambios en la transición de la sociedad humana desde una sociedad caracterizada por una economía agraria, hacia una economía industrial generada por aumento sostenido de la producción derivado de una mejora de la productividad, asociada a una intensificación del capital y cambio tecnológico, sin embargo la palabra es debatida pues el uso de la palabra “revolución” se puede considerar exagerado y sesgado. Exagerado, porque los cambios no se produjeron radical ni rápidamente como sugiere el término revolución y aún hoy los estamos experimentando y sesgada, porque los cambios no se limitaron a la industria ni tampoco a toda la industria (Hsieh, Shannon 2005).

Las concepciones hoy del término son de gran estudio en ciencias como la geopolítica y la sociología y se relacionan más con el cambio económico como núcleo del proceso. El cambio de cualquier manera no se considera revolucionario sino “evolucionario”, es decir que resume un proceso más que una revolución, además este se considera complejo e incompleto y son visibles discontinuidades relevantes, focos geográficos específicos, efectos globales aunque no generalizados (Davidsson, 1985). Lo anterior se sustenta en que las transformaciones afectaron más a unas actividades económicas que a otras y se introdujeron con mayor intensidad en unas regiones o países que en otros.

En suma la revolución industrial podría considerarse como una transformación “asimétrica” en todos los sentidos que deriva en escenarios económico nacionales complejos y singulares que a su vez completan un mapa heterogéneo mundial (Vaidya, S., Ambad, P., & Bhosle, S. 2018). Así, lo viejo convive con lo nuevo y regiones o países industrializados coexisten con otros de economía tradicional, dónde todos se encuentran en transición.

Como síntesis, desde una perspectiva histórica la revolución industrial no es precisamente una “revolución” sino que se considera un proceso abierto, asimétrico y claramente no universal. Esto es evidente porque se habla de países no industrializados e incluso como la mayoría de países latinoamericanos en procesos de “desindustrialización” lo que contradice el término pero no es excluyente dadas las condiciones actuales del mapa económico mundial, mucho más complejo y compacto que en el siglo XIX (Abdon, 2010)

En este proceso no es fácil discernir etapas, se han utilizado diferentes criterios para caracterizarla. Sin embargo, existe ya literatura que apoya o respalda una división fundada en desarrollos tecnológicos más allá de la consolidación estructuras económicas como lo afirman diversos autores (Hartmann. et al, 1997) (GEM, 1985) (Abdon, 2010) y en esta división se detallan tres etapas que han pasado y una que estamos enfrentando y que constituye el foco de estudio en el presente documento. A continuación se detallan las tres etapas del proceso definidas como primera, segunda y tercera revolución industrial para poner en contexto al lector y destacar aspectos relevantes en cada una de ellas.

La primera revolución industrial comenzó en la segunda mitad del siglo XVIII, en el periodo comprendido entre 1750 y 1789 en Bran Bretaña. Siguiendo la exposición previa no se considera que en este periodo haya empezado, pero si se afirmó un movimiento constante

debido a los acotamientos de tierra cultivable y el impacto de las guerras que aceleró prodigiosamente el ritmo de la transformación agraria (Hsieh, Shannon 2005). Así se elevaron los precios del trigo, de la carne, y de casi todos los productos agrícolas que creó una demanda insaciable tanto para alimentar la población cada vez mayor del país, y de los ejércitos en el extranjero.

Dadas las condiciones anteriores el sistema tradicional de la vida en el campo se fragmentó. Los trabajadores del campo se sintieron amenazados con la escasez, los precios altos y la reducción de oportunidades para obtener empleo. Los aldeanos desplazados y sus hijos constituyeron la principal fuente de mano de obra para las nuevas fábricas, de esa manera, las dos revoluciones en el campo y en la industria operaron conjuntamente.

Los cambios en el régimen agrario desalojaron del campo a la población excedente y, después de un periodo transitorio, la revolución industrial absorbió los sobrantes de campesinos en las nuevas minas y en las fábricas recién abiertas.

El cambio técnico, sin precedentes, constituye el epicentro de la primera ola de la revolución industrial. Este se fundamenta en una serie de innovaciones que se fueron inventando, aplicando y difundiendo produciendo la capitalización o intensificación de capital, es decir; no sólo se empleaba más volumen de capital por trabajador, si no, que ese capital incorporaba innovaciones técnicas más eficientes que producían una relación directa entre capital y trabajo (Cepal, 2005).

Las máquinas y fábricas son los íconos de este proceso de cambio, como representación de las ideas innovadoras y las nueva tecnología que mecanizaban las distintas

tareas del proceso productivo y reducían notablemente el esfuerzo y el trabajo manual gracias a su proliferación y mejora progresiva (Sennet, 1988)

Se plasmó la nueva forma de organización del trabajo, bajo una dirección centralizada y con un control y disciplina del trabajo. La revolución industrial coronó un proceso de organización del trabajo que venía de la época preindustrial, en la que la “manufactura concentrada” constituiría el eslabón entre el taller artesanal y la fábrica (Hartmann. et al, 1997) y sería ampliamente perfeccionado en la segunda ola.

La segunda revolución industrial según la literatura discurre entre el último cuarto del siglo XVIII y se considera uno de los periodos dónde la historia tiene muchos cambios, la primera guerra mundial es uno de ellos. El proceso de industrialización cambió su naturaleza y el crecimiento económico, a ella asociado, se perfeccionó en el modelo capitalista y las condiciones de guerra. También, se produjo un proceso de integración e internacionalización económica denominada como “primera globalización (Cepal, 2002)

El núcleo del cambio técnico se diversificó de la industria textil y la siderúrgica, la geografía de la invención se modificó: restringida inicialmente a Inglaterra, progresivamente se amplía a Europa continental y a EE.UU.-Los inventos mas radicales surgieron entre 1870 y 1913 en EE.UU. y Alemania principalmente. Todos estos descubrimientos acabaron por conformar un nuevo sistema o paradigma tecnológico, que aglutinó distintos tipos de invención; unas fueron macro invenciones radicales, otras, invenciones menores, y otras, de carácter incremental, pequeñas mejoras sucesivas de inventos anteriores, y todas interactuando sinérgicamente hasta originar uno de los procesos de cambio técnico históricamente más trascendentales.

Las grandes líneas de su evolución suelen describirse distinguiendo tres frentes fundamentales de avance tecnológico: nuevos materiales, nuevas energías y mecanización. En estos frentes no todo es plenamente nuevo, parte constituye una prolongación y mejora de la tecnología que existió previamente, o mera respuesta a problemas por ella planteados.

La nómina de nuevos materiales descubiertos en la época no es corta. Entre los más destacables figuran los nuevos metales como el acero (1855), el zinc (c. 1830), el níquel (1860), el aluminio (1880), cuya historia va ligada a la de la electricidad ejemplo de tecnología sinérgica, manganeso y cromo (c. 1900), etc (Deane, 1979).

Los productos químicos fueron otras de las grandes innovaciones del periodo, unos fueron reinventados como la sosa, el ácido sulfúrico o los fertilizantes, y otros completamente nuevos, como las fibras textiles artificiales cuya real expansión será posterior. También se destacan materiales plásticos, entre ellos la celulosa y el caucho sintético, colorantes sintéticos, explosivos, medicamentos, cementos y materiales para la construcción que favorecen el fenómeno de la creciente urbanización de la época. (Freyssenet, M 2009).

La energía ha sido históricamente el motor y fundamento de cualquier cambio técnico trascendente y lo fue también en esta ocasión. La oferta de energía aumentó y sobre todo se diversificó sensiblemente, creándose las condiciones de partida para el despegue de sociedades intensivas en consumo de energía.

Conjuntamente con estos avances, se constituyeron cambios importantes en el mercado, en su tamaño y estructura, se indujeron transformaciones en cadena que afectaron al factor trabajo y al sistema educativo y científico, al tamaño y gestión de las empresas, a la

forma de organización del trabajo y finalmente en los niveles de consumo que se dispararon hacía niveles nunca percibidos anteriormente.

Todos estos cambios se dieron a la par que la industrialización y el capitalismo alcanzaban dimensiones mundiales, nuevos países y más regiones del mundo se incorporaron al proceso de crecimiento económico moderno. Se dio una nueva oleada de industrializaciones, en países como Italia, Rusia, Holanda, países nórdicos y Japón que se sumaron espontáneamente a la lista de países desarrollados(Cepal, 2002).

La división del trabajo tomó así dimensiones cada vez más planetarias y el proceso de industrialización se “globalizó” mientras el sistema económico capitalista se desarrolló a escala mundial. Con ello, la competencia entre naciones y regiones se acrecentó, e hizo evidente que el nuevo sistema tecnológico podía brindar oportunidades a países y regiones que se habían visto desfavorecidos por la tecnología. El liderazgo de Inglaterra comenzó a ceder terreno ante la presión de países emergentes, como EE.UU. y Alemania, que en diferentes frentes la desbancaron de su posición hegemónica.

Desde lejos América latina apenas había alcanzado la independencia de todos sus países y atravesaba un periodo de poca estabilidad política. La oportunidad se presentó en las guerras que azotaron a Europa entre 1914 y 1939 que como abrieron una pequeña oportunidad para que los países no industrializados como los de América Latina, intentaran en un movimiento de coyuntura, el desarrollo tecnológico industrial de sus modelos de desarrollo. Entre ellos México, Brasil, Argentina, Paraguay, Uruguay, Chile, Panamá, Ecuador, Perú y Colombia (Esser, 1989)

Esta etapa de acercamiento a la tecnología y a la industria llevada a cabo a principios del siglo XX, significó el primer movimiento formal de posicionamiento y apropiación del desarrollo industrial por parte de estos países el cual se presenta casi dos siglos después del arranque industrial llevado a cabo por las naciones occidentales. A esta etapa de acercamiento de los países no industrializados al desarrollo de la manufactura se le conoce entre otras denominaciones como el periodo de industrialización sustitutiva de importaciones promovido por la CEPAL (Cepal, 1999)

Durante este periodo, se hizo recaer casi la totalidad de la responsabilidad del desarrollo industrial en la intervención directa e indirecta de los gobiernos, mediante incentivos fiscales, crediticios y de protección comercial. Teóricamente este proceso de desarrollo interno, se deriva y orienta por las restricciones externas, y se manifiesta, en última instancia, por la ampliación y diversificación de la capacidad productiva de la economía, con miras en el impulso industrial que fortalezca la competitividad interna de las empresas como se describe gráficamente en la Figura 4. De esa forma se garantiza la capacidad empresarial para intervenir a nivel global a través de una dinámica exportadora como fin último del modelo, y se fomenta el desarrollo sostenible de la economía nacional (Franco, Guarín 2011).

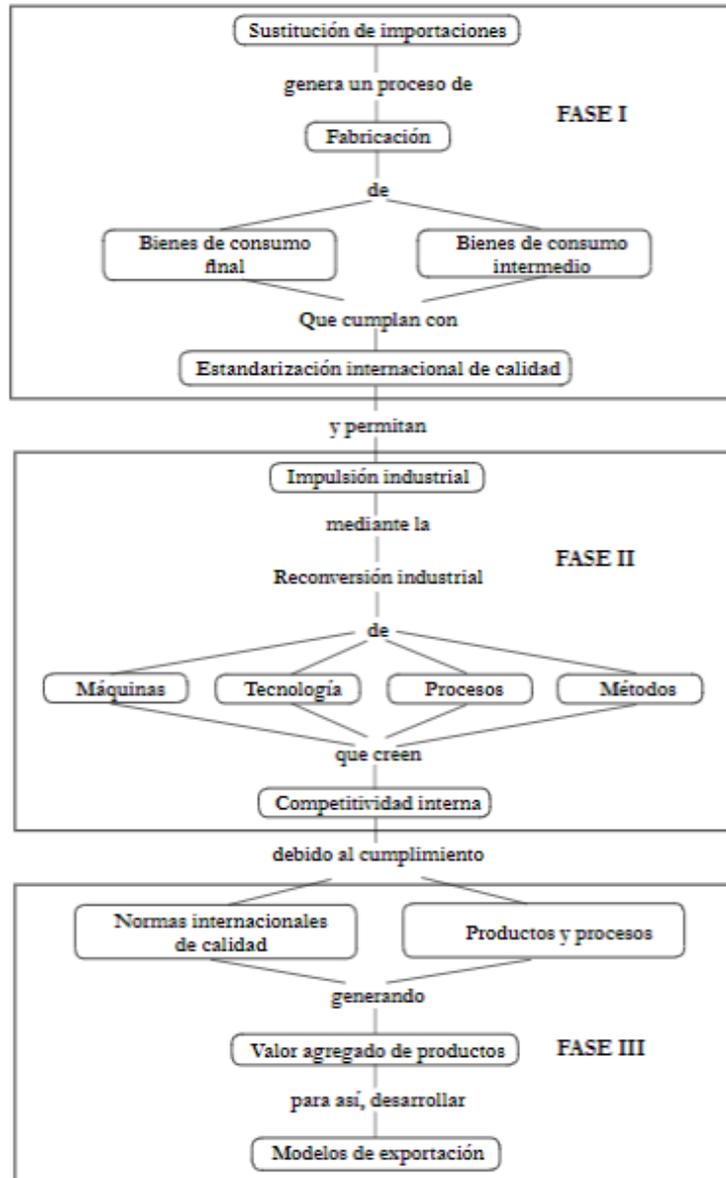


Figura 4 Mapa sustitución de importaciones. Fuente: Franco, Guarín. La sustitución de importaciones como medio para un desarrollo sostenible , Revista Universidad EAFIT: Vol. 44 Núm. 151 (2008)

Se trataba de ir reduciendo las importaciones de bienes intermedios y de consumo durable, con el fin de reemplazarlas con producción nacional pero para que esta política fuese exitosa se requería dos condiciones: la progresiva expansión del mercado interior y el mejoramiento de los términos de intercambio". Si los artículos se venden bien en el mercado internacional, el país obtiene las divisas necesarias para adquirir tecnología de punta.

“La comparación de los rasgos distintivos de la sustitución de importaciones en los países de América Latina evidenció amplia variabilidad, así pues no es posible trazar una clara línea divisoria. El éxito de la sustitución de importaciones siempre estuvo ligado a una dinámica exportadora que permitiera generar las divisas necesarias para modernizar la industria nacional” (McGreevey, 1990).

La sustitución de importaciones estuvo acompañada de una afirmación de la autonomía nacional y regional. No obstante, faltó coherencia y el modelo que presentó múltiples fisuras. En primer lugar el compromiso de las empresas en el diseño de estrategias de producción fue muy reducido al igual que el acompañamiento del estado y las alianzas con la academia contrario a lo que se evidenció en el hemisferio norte, lo que impidió que estas incrementaran su productividad para hacerse más competitivas.

También hubo múltiples dificultades que impidieron la consolidación del mercado interno, entre ellas la precariedad de la infraestructura vial y de comunicaciones ya que el mercado interno no puede fortalecerse si las vías y las comunicaciones no son adecuadas, además el continente americano es sustancialmente más grande que el europeo así que en el plan debió considerarse la integración terrestre que aun hoy sigue siendo precaria, también se destaca la distribución desigual del ingreso (Franco, Guarín 2011).

Durante las décadas de los años 50s, 60s y 70s del siglo pasado, los avances científicos y tecnológicos no cesaron en ningún momento de realizarse. De echo es complicado acuñar la tercera revolución industrial en base a los avances técnicos porque estos se diversificaron y proliferaron con tal magnitud que el progreso técnico se dejó de considerar como un fenómeno escalonado (Billstein, Fings, & Kugler, 2004).

Según varios autores (Monsalve, 1997) (Naciones Unidas, 1957) (Perry, 1979) la tercera revolución industrial se generó como respuesta a la crisis energética de 1973, a partir del shock petrolífero generado por el alza violenta del combustible, realizada por la Organización de los Países Exportadores de Petróleo (OPEP), que se hallaba bajo el control de los países enfrentados por entonces en guerra contra Israel, apoyado por los Estados Unidos y las potencias europeas, a todos los que se propusieron castigar con esa medida los productores de petróleo. En esta perspectiva, los precios del barril de crudo se elevaron tanto que esto generó, una conmoción gigantesca, lo que obligó a las potencias industriales a reorientar toda su tecnología teniendo en cuenta que esta debería de emplear la menor energía posible, así como también un mínimo de mano de obra, también debería ser una tecnología de muy amplia incidencia en todos los aspectos de la vida individual y colectiva y emplear menos materias primas valiosas o tradicionales que el crudo. Así la tercera revolución se dio en torno a la robótica, la ingeniería genética (o bioingeniería) y las telecomunicaciones con el imprescindible apoyo de un prolífero desarrollo computacional y la segunda globalización impulsada por el internet.

Según Schumpeter (1996) en ocasiones ocurren innovaciones profundas que se convierten en verdaderas revoluciones tecnológicas. Cada revolución tecnológica se basa en una modificación radical y duradera en la dinámica de los costos relativos de los posibles insumos del proceso de producción. Esto sucede a partir de un 'factor clave' que posea un costo relativo bajo y decreciente, una oferta aparentemente ilimitada, un uso potencial universal, y constituya la base de un sistema de innovaciones capaces de modificar la estructura económica.

Lo anterior, pone de manifiesto dos grandes tendencias aparentemente contradictorias: por un lado la economía mundial aparece constituida por economías que tienden a integrarse a través de lo que se ha dado en llamar globalización de la producción. Y por otro lado se perfila como conjuntos o bloques internacionales enfrentados unos contra otros en una verdadera guerra tecnológica y económica (Jutglar, 1999).

Una innovación sustancial consistió en tecnologías programables que permitían sistemas de producción mucho más flexibles y que anulan los elevados mínimos escalares requeridos para producir un bien. Las dotaciones de factores de cada región o país eran determinantes y, aunque sigue siendo importante la tenencia de determinados recursos, la innovación tecnológica, dado su inmenso potencial transformador, podía convertir una “desventaja comparativa natural” en una “ventaja competitiva adquirida”. La búsqueda de las ventajas competitivas y el fin de las ventajas comparativas fijas o estáticas es uno de los rasgos que distinguen la nueva circunstancia (Mcgreevey, 1991) .

Para terminar el recorrido histórico, es importante determinar que los avances son incrementales, y como se ha detallado en otras partes del documento la revolución industrial corresponde un proceso continuo, cómo se puede observar las tres revoluciones han seguido un patrón de sucesos motivados por una firme convicción de llevar un paso más allá a la industria, por producir más y mejor. Ello impulso descubrimientos y avances tecnológicos que han marcado cambios de ritmo en el ámbito de la innovación y cuya aplicación cada vez mayor desencadenó incrementos de productividad, ahorros en tiempo de fabricación, mejoras en la eficiencia y aumento de beneficios (Jutglar, 1999) .

2.1.1 Actualidad económica ¿Dónde nos encontramos hoy?

Como ha quedado patente, en la base de cualquier revolución industrial se encuentra toda una serie de adelantos tecnológicos que la hacen posible (Jutglar, 1999). Por lo tanto, para que haya revolución tiene que haber innovación, o dicho de otra forma, si se producen descubrimientos que “rompan” con lo establecido y signifiquen un punto de inflexión con lo actual, habrá revolución. Ese es el punto en que hoy nos encontramos.

El siglo XXI conduce la industria hacia otro cambio de paradigma; trae consigo la Cuarta Revolución Industrial, y todo apunta que seguirá el mismo patrón que sus antecesoras. Recientemente se viene desarrollando una nueva concepción de industria, abierta y conectada (Industria 4.0), impulsada por el surgimiento de novedosas tecnologías, materiales, y software, cuya convergencia permitirá la interconexión e interacción de los sistemas, transformando los modelos de producción, producto y servicio tal y como hoy los entendemos. Ante las implicaciones que suscitan estas innovaciones, los expertos anuncian, con total seguridad, la inminente llegada de una nueva etapa, a la que han denominado “Industria 4.0 la era de la digitalización”. Aunque todavía no existe una conciencia plena en la sociedad, en la actualidad, se están sentando las bases del futuro.

2.2 Definición de industria 4.0

La industria 4.0 es un concepto, de origen alemán, acuñado por el presidente de la Academia alemana de Ciencias e Ingeniería (Acatech), Henning Kagermann, y presentado por primera vez en la Feria de Hannover de 2011.

Se considera un “paradigma” ya que representa un conjunto de valores y saberes compartidos colectivamente, es decir, usados, implícita o explícitamente, por una comunidad (Ostermann, 1996).

Teóricamente un paradigma se considera un marco interpretativo eximido de la categoría de falso o verdadero y como sus antecesores (Industria 1.0, industria 2.0, industria 3.0) perderá vigencia paulatina e imperceptiblemente y será reemplazado por otro, es decir que constituye un organizador invisible y como se podrá evidenciar en la lectura, no existe como tal, sólo en sus manifestaciones. Sin embargo determina una visión del mundo y una forma particular del sistema en este caso dada por las particularidades económicas y técnicas del momento histórico actual (Evans y Annunziata, 2012) .

La idea básica en que se fundamenta la cuarta revolución industrial o industria 4.0 es la aplicación masiva de las nuevas tecnologías, con Internet a la cabeza, a todos los procesos de una fábrica, de modo que el funcionamiento de la misma sea inteligente y absolutamente eficiente. Con estas premisas podríamos abordar otro tipo de definición, en virtud de la cual Industria 4.0 consistiría en la implantación de una red tecnológica de producción inteligente, para que máquinas, dispositivos y sistemas colaboren entre sí. De esta manera se consigue fusionar el mundo real y virtual en las fábricas, permitiendo aumentar la optimización del control de los procesos de trabajo y de las cadenas de suministro (Lasi et al. 2014)

Esta aplicación integral de la inteligencia (“smartización”) de los procesos nace de la simbiosis entre la instrumentación digital generalizada combinada con software avanzado a lo largo del conjunto de las instalaciones. Ello permite trabajar con grandes volúmenes de datos, proporcionando información de valor añadido, lo que a su vez deriva en la capacidad de optimización de redes y de mantenimiento preventivo, eficiencias operativas gracias a la explotación y coordinación de los dispositivos interconectados, así como visualizar el estado de los mismos, siendo capaces de detectar y anticiparse a cualquier desviación o fallo, garantizando su fiabilidad, también considera la recuperación del sistema y el aprendizaje

como agregación de conocimiento proveniente de experiencias de funcionamiento pasadas que permitan aumentar la velocidad de respuesta, incluso hacerlo de forma autónoma (Evans y Annunziata, 2012).

Por todo ello, se fomenta una completa integración de las TICs en el ámbito industrial que permite un control continuo de los niveles de consumo de las instalaciones y, por consiguiente, incrementar tanto la eficiencia como el rendimiento de las mismas (Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013).

La convergencia de estas características supone el establecimiento de redes verticales de sistemas de producción inteligentes, y al mismo tiempo, horizontales a través de redes globales a lo largo de la cadena de valor (Schlaepfer, Koch, Markofer, 2015). Ello conduce a fábricas ágiles y veloces en su capacidad de reacción y respuesta ante los cambios, las necesidades de los clientes o fallos en los sistemas productivos; fábricas que ganarán en eficiencia y sostenibilidad, a través del uso racional de los recursos y energía, así como por el uso de sistemas que disminuyen la propensión a la interrupción. Y, en definitiva, serán fábricas capaces de gestionar mayores niveles de complejidad, derivados de la completa integración de los avances tecnológicos, del aumento de funcionalidad, personalización y formas cambiantes de cooperación en el entorno de fabricación (Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013).

2.2.1 Objetivos de la industria 4.0

Es importante definir que la industria 4.0 tiene objetivos muy claros definidos por la visión planteada por el gobierno alemán (Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013) que son integradas, incrementales y transversales para la estructura industrial. Los objetivos se

consideran sucesivos como lo refleja la Figura 5 y están ligados a fases que estiman un alcance.

La primera fase de implantación coincide con el primer objetivo que es la digitalización de las fases productivas, que generará instalaciones autónomas y cadenas de producción auto gestionables, elevando la cadena de valor del producto a un nuevo nivel de organización y control, gracias a la interacción e integración de los distintos eslabones (investigación, desarrollo, diseño, producción, logística y prestación de servicios).

Dada la digitalización de los diferentes procesos y teniendo como base los distintos flujos de información generados, se podrá crear un puente de unión entre el mundo físico y virtual, que significará la conexión e interacción dinámica entre todos los objetos, personas y sistemas (como una comunidad). Lo anterior se conoce en la literatura como “Sistemas Ciberfísicos” (CPS), y son la base para la circulación y disponibilidad en tiempo real del conjunto de información y datos generados en los distintos procesos y la conectividad de los mismos (Kemp, 2016).

Esta conectividad y retroalimentación constante e instantánea posibilitará la optimización y auto organización inmediata de la cadena de valor y, por consiguiente, será soporte de una mejora en la toma de decisiones (Ors, 2015).

Lo anterior, no solo favorece la toma de decisiones asistida por datos sino que permite la implantación de procesos o sistemas inteligentes que se retroalimentan y aprenden, es decir la smartización de los procesos que nace de la simbiosis entre la instrumentación digital generalizada combinada con software avanzado a lo largo del conjunto de las instalaciones (Xu, David & Kim, 2018).

Ello permite trabajar con grandes volúmenes de datos, proporcionando información de valor añadido, lo que a su vez deriva el aumento de la capacidad de optimización de redes y de mantenimiento preventivo y en el aumento de eficiencias operativas gracias a la explotación y coordinación de los dispositivos interconectados que permiten la visualización de datos y detectar o anticipar desviaciones o fallas, garantizando la confiabilidad de los sistemas. Del mismo modo ofrecen la capacidad de restaurar rápida y eficazmente el sistema tras sufrir incidentes y así agregar conocimiento proveniente de experiencias de funcionamiento pasadas que permitan aumentar la velocidad de respuesta, incluso hacerlo de forma autónoma (Evans y Annunziata, 2012).

De esta forma, se adquirirá tal grado de flexibilidad, que será posible responder de forma más rápida y eficiente a las necesidades de los consumidores, extendiendo la personalización desde las fases de diseño y desarrollo hasta la fase de entrega seguimiento, originando así un producto totalmente individual e inteligente. Dadas estas características las fábricas tendrán altos niveles de digitalización y flexibilización como último objetivo de la industria 4.0 y serán conocidas como “fábricas inteligentes” (Ors, 2015; Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013).

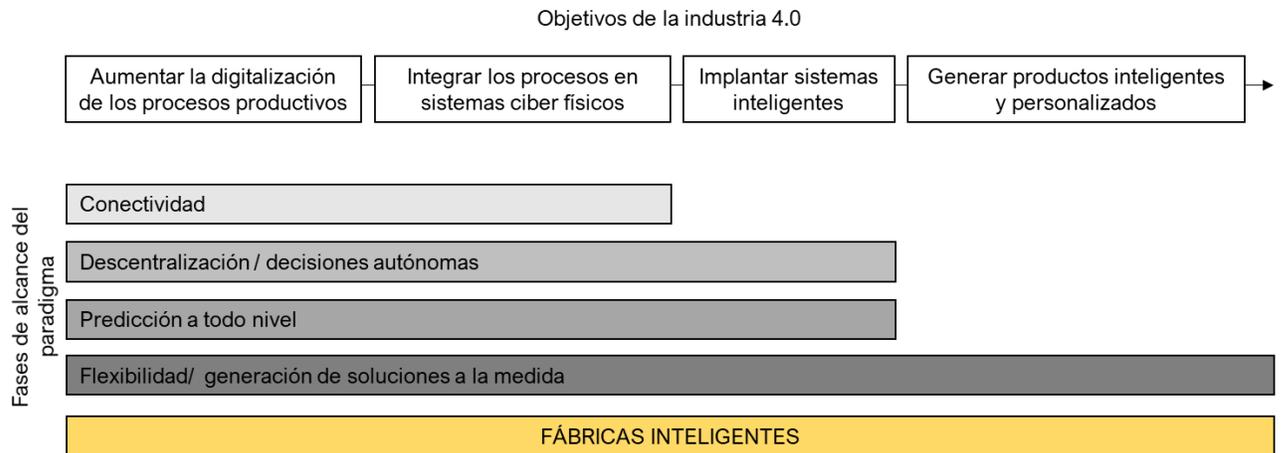


Figura 5 Objetivos y mecanismos de implantación industria 4.0 Fuente: elaboración propia según Kagermann, 2016 Industrie 4.0 in a Global Context: strategies for cooperating with international partners. Herbert Utz Verlag

2.2.2 fábricas inteligentes

Las fábricas inteligentes (smart factories) son el gran reto del futuro para la industria 4.0. Esta es una visión de la fabricación informatizada con todos los procesos interconectados por internet de las cosas (IOT) con sistemas de automatización industrial que integren cada vez más sensores y capacidades de comunicaciones inalámbricas para la optimización de los procesos industriales y de negocio que permitan generar ventajas duraderas frente a la competencia (Ors, 2015).

Las soluciones que ofrecen son:

- Tecnologías de la información y de la comunicación (TIC): En la fabricación colaborativa, las tecnologías TIC apoyarán un circuito de retroalimentación constante sin pausas multimedia entre los diseñadores de productos, ingenieros, instalaciones de producción con tecnología de última generación y clientes. El mayor impacto esperado son las siguientes áreas: planta, almacenamiento de datos de próxima generación y el contenido de la información, aplicación segura y de alto rendimiento y plataformas de servicios abiertas,

herramientas de modelado y simulación, arquitecturas de aplicación colaborativa y descentralizada y herramientas de desarrollo (Ors, 2015).

- Convergencia entre Tecnologías de la información (IT) y Tecnología Operacional (OT): Se abren posibilidades para modelos de negocio basados completamente nuevos entre la convergencia de dispositivos físicos y la IT conocida como sistemas físicos cibernéticos (Cyber Physical Systems). El mundo de fabricación real está convergiendo con el mundo de la fabricación digital para que permita a las organizaciones planificar y proyectar todo el ciclo de vida de sus productos y las comodidades de producción que hace que sea posible obtener un beneficio importante en los campos de: La comunicación de máquina a máquina, por lo que el trabajo humano se puede reducir y se pueden hacer importantes contribuciones a la eficiencia y la seguridad, el mantenimiento predictivo de máquinas y aparatos en la base de los informes de estado directas y, posiblemente, también reparación remotas, la interacción con el cliente a través de la utilización de los productos por los consumidores o profesionales, la automatización de procesos de negocio y la automatización de oficinas (Ors, 2015).

- Procesos, máquinas y plantas conectadas: Las mayores ganancias en la fabricación van a ser realizadas por empresas que entienden el valor de la integración a través de la función, el departamento y proceso. Esa colaboración es la clave a la salida al mercado reducido y una mayor la flexibilidad necesaria para satisfacer la demanda de los clientes. IT es el facilitador para la fabricación integrada, pero para una implementación exitosa se deberá alinear los procesos, la organización y la cultura de la innovación. La Tecnología permitirá una integración sin problemas de la cadena de valor y las operaciones completo; desarrollo

de producto (PLM), planificación de la producción (ERP) y de ejecución de la producción (MES / MOM) (Ors, 2015).

- Colaboración entre personas y máquinas: En la industria del futuro, se busca que hombres y robots trabajen conjuntamente en las plantas productivas, rediseñando las tareas de cada uno. De esta forma, los robots serán destinados tanto a aquellas tareas rutinarias, repetitivas y pesadas, como aquellas que obliguen a la máxima precisión en la elaboración del producto, mientras que se redefinirá el perfil de los nuevos trabajadores, enfocado a una mayor cualificación para la ejecución de labores de diseño, creación, programación, toma de decisiones y control de los propios robots (Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013).

- Alta seguridad: La fábrica del futuro aborda el problema de seguridad desde dos perspectivas: por un lado, desde el concepto de seguridad digital (security) para proteger instalaciones, productos, servicios, datos, conocimiento y experiencia (*know-how*), contra el mal uso o accesos no autorizados. Este principio se establece como base de privacidad que garantice la defensa contra violaciones de los derechos e información personal. Por otro lado, desde el concepto de seguridad física (safety), como protección referida a la ausencia de riesgos y amenazas operativas que pongan en peligro a empleados o medio ambiente. Hasta ahora la toma de medidas de seguridad se ha caracterizado por ser lenta y correcciones parciales. Sin embargo, en un nuevo escenario industrial donde aumentarán la conectividad, la apertura y exposición, y la participación de todos los actores, se hace necesaria la puesta en práctica de dos hechos: incluir el factor de protección desde las fases de diseño, otorgando un enfoque proactivo a este principio en contraposición con la actuación tradicional caracterizada por un enfoque a posteriori; igualmente, asentar arquitecturas y estándares que

conduzcan al establecimiento de mayores niveles de confidencialidad, integridad y disponibilidad. (Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013).

2.2.3 Tecnologías habilitadoras

Las tecnologías habilitadoras son el conjunto de herramientas que permitirá impulsar la transformación de la industria y que se presentan como los pilares sobre los cuales se construirá este nuevo escenario. Existen muchas tecnologías importantes y representativas, sin embargo existe un consenso dónde las más conocidas son : Internet de las Cosas (IoT) y Sistemas Ciber físicos (CPS), Realidad Aumentada, Simulación, Robótica Colaborativa, Fabricación Aditiva, Big Data, Cloud Computing y Ciberseguridad. A continuación se describen las principales características de cada una de ellas.

2.2.3.1 Internet de las cosas y sistemas ciberfísicos (CPS)

El internet de las cosas es un concepto de red para el intercambio de información y comunicación a través de Internet, a fin de lograr una gestión inteligente (Kagermann, Wahlster y Helbig). Su finalidad es permitir que todos los elementos se puedan comunicar entre sí en cualquier momento, en cualquier lugar, otorgando a cada objeto una dirección para poder tener comunicación con los demás objetos, e incluso controlarlos (Kagermann, Wahlster y Helbig). El IoT ofrece un papel clave para el futuro de Internet, cerrando la brecha entre el mundo físico y su representación en los sistemas de información (Ferreira, Martinho, & Domingos, 2010).

Para que el internet de las cosas funcione, es imprescindible un intermediario entre el mundo físico y el virtual, que son los denominados Sistemas Ciberfísicos (CPS o Ciber Physical Systems) como se observa gráficamente en la ilustración 6. En palabras sencillas, un

CPS es un sistema en el que los procesos físicos se integran con la computación. El término procede de la National Science Foundation y describe sistemas empotrados (embebidos) y redes de comunicación que controlan tanto fenómenos y procesos físicos, habitualmente en circuitos cerrados donde el lado físico y el ciber interactúan entre sí y se afectan mutuamente. Estos sistemas interconectados intercambian datos en tiempo real a través de Internet, conformando sistemas mayores (Ferreira, Martinho, & Domingos, 2010).

La implantación de IoT no es un proceso sencillo y requiere de muchas competencias según varios autores (Ors, 2015; Ferreira, Martinho, & Domingos, 2010), entre ellas están un alto nivel de Tecnología vinculado a los desafíos vinculados a la integración de los objetos de las redes inteligentes como se observa en la Figura 6, además operar bajo fuertes restricciones de energía y medio ambiente, entendiendo los desafíos vinculados a la seguridad de la red y flexibilidad en la prestación de servicios en todas partes, el nivel de inteligencia dadas las condiciones de fusión de datos y descubrimiento de servicios donde los datos son recogidos por los objetos inteligentes para ser examinados y distribuido.

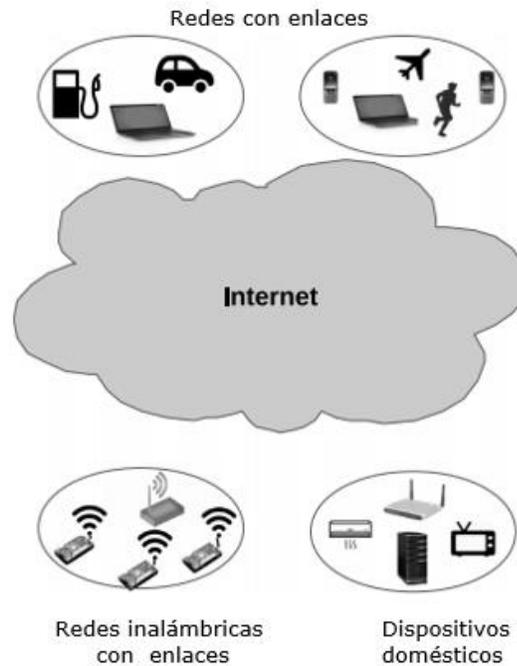


Figura 6 : Descripción general de elementos de IoT. Fuente: adaptado de Ferreira, P., Martinho, R., & Domingos, D. (2010, September). IoT-aware business processes for logistics: limitations of current approaches. In *INForum* 115.

El Internet de las Cosas tiene principalmente las siguientes características:

- Hace que cualquier objeto pueda conectarse a Internet para intercambiar información y comunicarse entre sí, con una identificación inteligente, obteniendo la localización, el seguimiento, el control y la gestión de red (Tian et al., 2011).
- La fiabilidad y precisión en la entrega de la información a través de la integración de las telecomunicaciones y redes.
- El análisis inteligente (Big Data) de la gran cantidad de datos que proporcionan los objetos, los cuáles se almacenan en el Cloud Computing. Como cualquier objeto tecnológico tiene unas aplicaciones definidas, Internet de las Cosas también tiene una amplia variedad de aplicaciones (Tian et al., 2011).

2.2.3.2 Big Data y cloud computing

Big Data es la colección, gestión y análisis a alta velocidad de grandes, dinámicos y heterogéneos volúmenes de datos generados por usuarios y máquinas, y que, debido a su tamaño y complejidad, superan las capacidades de procesamiento de las herramientas de software tradicionales, por lo que requieren de innovadoras técnicas para su procesamiento y tratamiento (Tian et al., 2011) (López, 2014).

Cuándo se habla de bigdata es imprescindible nombrar las 5V's asociadas a el según los expertos (López, 2014) estas son:

- **Volumen:** los avances tecnológicos cada vez permiten incrementar la recogida masiva de datos, llegando a niveles máximos (Terabytes y Petabytes), superando así la capacidad de los software actuales para su manejo, recordamos que un bit es la mínima cantidad de información procesada, sólo puede ser 1 o 0; mientras que un byte es un conjunto de 8 bits. La Tabla 1 muestra los distintos múltiplos del byte con algunos ejemplos de los ámbitos estático y dinámico de la información.

Nombre	Símbolo	Sistema internacional	Ejemplo 2014 estático	Ejemplo 2014 dinámico
Byte	B	10 ⁰ bytes	1 B es un número de 0 a 255	
Kilobyte	KB	10 ³ bytes	2 KB es aproximadamente un sector de CD-ROM	
Megabyte	MB	10 ⁶ bytes	3 MB es aproximadamente una canción de 3 minutos	4 MB/min en llamadas de video por Skype
Gigabyte	GB	10 ⁹ bytes	8/16 GB es el tamaño estándar de mercado de un pen-drive	4 GB/hora de video de alta calidad
Terabyte	TB	10 ¹² bytes	4 TB es el tamaño de un disco de 120 € que almacena 800.000 fotos o canciones mp3	20 TB/hora es la información generada por un motor de avión en el aire
Petabyte	PB	10 ¹⁵ bytes	2 PB es la información almacenada en todas las bibliotecas de investigación académicas de USA	24 PB/día es la información recogida por Google
Exabyte	EB	10 ¹⁸ bytes	5 EB es aproximadamente todas las palabras pronunciadas por todos los seres humanos	966 EB es aproximadamente la predicción del volumen total de Internet en 2015
Zettabyte	ZB	10 ²¹ bytes	Se estimó que en 2012 la capacidad instalada de almacenamiento de información en el mundo sería de 2,5 ZB.	5 ZB/año es la cantidad de datos digitales promedio que se van a generar en la Tierra en los próximos 8 años
Yottabyte	YB	10 ²⁴ bytes	1 YB equivale a la capacidad del Data Center inaugurado por la NASA en 2013	
Xerabyte	XB	10 ²⁷ bytes	1 XB equivale a 1.257.000 iPad 3 de máxima capacidad por cada habitante de la tierra	

Tabla 1 Unidades básicas de información y tratamiento de datos. Fuente: UNESCO, disponible en la web <https://es.unesco.org/themes/education>

- Variedad: al igual que en el caso anterior, cada vez hay más fuentes de las que proceden estas grandes cantidades de datos, debido a que cada vez es mayor el número de dispositivos conectados (smartdevices, GPS, automóviles, anemómetros, etc.).
- Velocidad: hace referencia a la rapidez con la que los datos son recibidos y gestionados, incluso podría hablarse de “vida útil del dato”. Los sistemas tradicionales carecen del factor “tiempo real”, es decir, no tienen capacidad de analizar al instante, en el momento, lo cual implica una toma de decisiones tardía y, por consiguiente, pérdida de valor; sin embargo, incorporar esa “inmediatez” es básico para posibilitar el procesamiento de datos y una toma de decisiones in situ.
- Veracidad: pureza y confianza que destilan los datos, evitando imprevisibilidad.
- Valor: se refiere a la capacidad de saber identificar qué datos se deben utilizaren cada momento, y dado que la cantidad disponible de datos va en aumento, esta característica se

vuelve de suma importancia, tanto que incluso comienza a tomar fuerza un nuevo perfil profesional: el científico de datos.

El término computación en la nube (cloud computing) es una solución de las tecnologías de la información (IT) para ofrecer recursos y servicios sobre Internet. Según la definición del NIST (National Institute of Standard and Technology), el cloud computing es un modelo tecnológico que permite el acceso ubicuo, adaptado y bajo demanda en red a un conjunto de recursos de computación configurables compartidos (por ejemplo, redes, servidores, equipos de almacenamiento, aplicaciones y servicios) que pueden ser rápidamente aprovisionados y liberados con un esfuerzo de gestión reducido o interacción mínima con el proveedor del servicio. La idea básica es que toda la información se almacena de forma distribuida en servidores, siendo accesible en cualquier momento por el usuario sin que éste se preocupe de nada, el propio sistema de “cloud” es el que se encarga de mantener siempre (Tian et al., 2011).

En el caso de que se esté almacenando una aplicación en la nube, el propio sistema es el que se encarga de subir la capacidad de cómputo, memoria, etc., en función del uso que se le está dando a la aplicación, con lo cual en la nube no sólo se delega la capacidad de almacenamiento sino que también se distribuye en los servidores el procesamiento de datos. Esto hace que en un sistema en la nube las capacidades de cálculo y almacenamiento sean muy elevadas. La computación en la nube ha supuesto una reducción de costes, una mayor flexibilidad y una utilización óptima de los recursos, por lo que se considera que es una herramienta de ventaja competitiva de las empresas (Kambatla et al, 2014). Los datos residen en plataformas con capacidades computacionales y de red que varían ampliamente. Ello hace que las consideraciones de tolerancia a fallos, seguridad y control de acceso sean críticas.

2.2.3.3 Cyberseguridad

El ciberespacio actualmente es un entorno virtual habilitado por una infraestructura digital mundial generalizada. Esta ofrece un escenario ideal para la realización de actividades comerciales, habiendo facilitado e impulsado el comercio internacional y habiendo transformado el comercio de productos culturales, así como la actividad científica y sobre todo su divulgación; sin olvidar el impulso que ha supuesto a la educación, la comunicación y las actividades de origen político, desde la difusión propagandística de diversos idearios hasta la agilización de gestión de tramites entre gobierno y ciudadanos (Singer & Friedman, 2013).

El ciberespacio a nivel económico y social supone un lugar de oportunidades de negocio y la plataforma de difusión cultural por excelencia pero también una amenaza a la seguridad individual, colectiva, nacional e internacional. A medida que las organizaciones del sector público y privado siguen derivando sus actividades al entorno digital, es decir, al ciberespacio, también lo hacen las organizaciones criminales (Deibert & Rohozinski, 2010). Cabe entonces plantearse la definición de delito cibernético, siendo este el término destinado a aquellas actividades delictivas llevadas a cabo mediante el empleo de un ordenador o de internet.

La actividad delictiva se ha tornado más sofisticada, por lo que cada vez resulta más difícil detectarla y combatirla. Siendo la cuestión de la ciberseguridad una cuestión inquietante tanto para las organizaciones comerciales, como para los Estados y los ciudadanos. A nivel internacional, la ciberseguridad está cobrando unos marcados matices de relevancia y de urgencia, a medida que la economía digital se ha ido desarrollando en los últimos 15 años, las empresas así como los consumidores son más dependientes que nunca

de los sistemas de información. La relevancia de la ciberseguridad sigue viéndose incrementada debido a la aparición de una nueva ola de sistemas ciber-físicos como son los dispositivos "inteligentes" para el hogar, vehículos autónomos y sistemas aéreos no tripulados. Sin embargo, en este contexto de transformación digital, es cada vez más claro que tanto el público como el sector privado no pueden seguir el ritmo de las amenazas de ciberseguridad (Cavelty, 2010) .

2.2.3.4 Fabricación aditiva

El término Fabricación Aditiva engloba un conjunto de tecnologías cuyo funcionamiento consiste, básicamente, en la adición sucesiva de material depositándolo con precisión y fabricando capa a capa, de tal forma que la superposición de éstas origina sólidos en 3D (Zahera, 2012).

Este concepto supone una ruptura con el medio de fabricación practicado hasta ahora, conocido como “Fabricación Sustractiva”, que consiste en pulir un trozo bruto de material hasta la obtención del objeto deseado. Esta técnica por el contrario consiste en depositar el material en capas, unas sobre otras, confiriéndole tridimensionalidad hasta obtener el objeto como se observa en la Figura 7 (Arrieta, 2015).

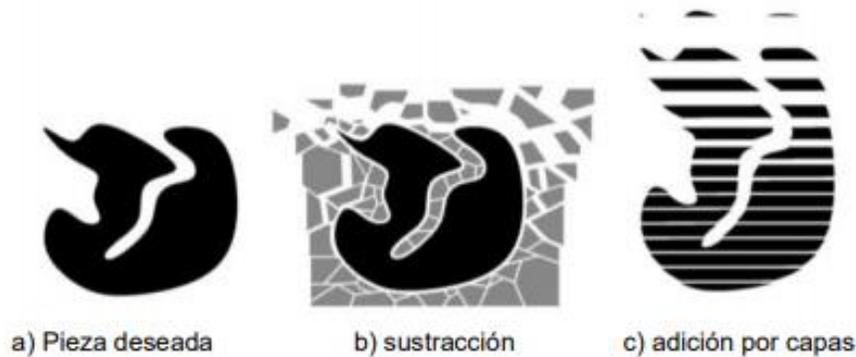


Figura 7 Comparación de modelos de fabricación por adición y sustracción. Fuente: Bourell, D. L., Leu, M. C., & Rosen, D. W. (2009). Roadmap for additive manufacturing: identifying the future of freeform processing. The University of Texas at Austin, Austin.

Son muy diversas las técnicas de aplicación como la estereolitografía o el sinterizado selectivo que permiten obtener piezas directamente de un archivo cad 3d, “imprimiéndolas” de forma totalmente controlada sobre una superficie. El concepto de impresora en 3D ha venido acuñándose desde hace años en la literatura de este sector de actividad. (Bourell, 2009). Por ello también se han empleado otros términos para referirse a ellas como e-manufacturing (Fabricación Electrónica), Direct Manufacturing (Fabricación Directa) o Additive Layer Manufacturing-ALM (Fabricación Aditiva por Capas).

2.3 La captura de valor: Las nuevas perspectivas de industria 4.0

La industria ya no se trata simplemente de fabricar productos físicos, los cambios en la demanda de los consumidores, la naturaleza de los productos, la economía de la producción y la economía de la cadena de suministro, han llevado a un cambio fundamental en la forma en la que se hacen negocios y se ha vuelto más difícil capturar valor (Deibert & Rohozinski, 2010).

Durante décadas, los fabricantes han buscado obtener el “más por menos”, enfocándose en brindar una creciente calidad y funcionalidad a los consumidores a precios cada vez más y más reducidos, pero el acelerado cambio tecnológico y el consecuente

acortamiento del ciclo de vida del producto ha reducido la ventana de oportunidad. En este contexto, los avances en la tecnología y los cambios en las expectativas del mercado, están haciendo posible que los fabricantes relativamente pequeños ganen fuerza y prosperen, en una industria donde la dimensión alguna vez fue imprescindible.

Gracias a las tecnologías, que están reduciendo las barreras de entrada, nuevos participantes de tamaño moderado, ahora plantean una amenaza legítima a las empresas dominantes ya que el tamaño más pequeño y la agilidad de éstas nuevas empresas en el mercado, podría darles ventaja sobre las organizaciones más grandes y antiguas, tan solo porque éstas empresas podrían encontrar dificultad para cambiar los modelos de negocios y prácticas ya establecidas, para acomodarse a las nuevas realidades (Blunck, Werthmann, 2017).

De cara a estos cambios, los fabricantes, deben entender las fuerzas que impulsan la evolución de la industria, para poder escoger su camino hacia adelante. En términos prácticos se reduce a aprovechar las herramientas, técnicas y plataformas emergentes para encontrar un rol rentable y sustentable en el paisaje futuro de la manufactura (Deibert & Rohozinski, 2010).

Este no es problema exclusivo de las empresas, en el mundo globalizado cada uno de estos cambios, contribuye a un ambiente crecientemente más complejo y en evolución continua, dónde los países deben concentrar sus esfuerzos hacia aquellos que permitan perseguir oportunidades potenciadas de crecimiento, e identificar puntos de influencia emergentes que tendrán una ventaja estratégica significativa que permita elevar el PIB industrial y generar empleo, posicionamiento en la cadenas de valor y desarrollo para las naciones . Esta ventaja estratégica se puede definir y cuantificar a partir de la teoría de la complejidad económica (Ungerma, Dedkova, & Gurinova, 2018).

Según estudios, (Ungermañ, Dedkova, & Gurinova, 2018; Blunck, Werthmann, 2017) existe una estrecha relación entre la industria 4.0 y la competitividad económica, explicado ya que las variables de innovación y tecnología son las más significativas y que mejor describen a la competitividad industrial a nivel país y reflejan la relación e importancia de la Industria 4.0 para la generación de ventajas competitivas (Blunck, Werthmann, 2017).

En estudios analizados (Ungermañ, Dedkova, & Gurinova, 2018; Blunck, Werthmann, 2017) se describe que los tipos de relaciones existentes entre la Industria 4.0 y la competitividad industrial se producen a través relaciones de identidad, inclusión, unión, correspondencia, oposición y contingencia, para dar lugar a la generación de ventajas competitivas en el sector a nivel internacional. Se concluye que diversos aspectos de la competitividad industrial entre los que están productividad, I+D+i, tecnología, economía y bienestar social guardan algún nivel y tipo de relación con la Industria 4.0, y más de un 50% de estas relaciones revisten gran importancia e influencia para generar ventajas competitivas (Deibert & Rohozinski, 2010) .

2.3.1 La complejidad económica

El nivel de desarrollo de una región bajo el enfoque de complejidad económica se asocia a la sofisticación de la estructura económica apalancada en las capacidades productivas disponibles (Monga, 2009). De esta forma, una región crece cuándo aumenta el conjunto de capacidades, que son las que definen los límites del universo de productos que el lugar es capaz de producir y pueden generarse de manera endógena a partir de procesos descentralizados de aprendizaje o, estimularse a partir de una política industrial que tome en cuenta las ventajas existentes (Hausmann, Cheston, Santos, 2015). Este proceso ha sido ampliamente investigado y aplicado en economías nacionales a través de modificaciones en

su política industrial. Como resultado de poder reconocer su estructura productiva, los países pudieron modificar profundamente la organización de sus economías y, llevar a cabo cambios sustanciales que les permitieron desarrollarse. Esto, lo lograron impulsando industrias maduras pero cercanas en términos de su producto interno bruto (PIB) y articulando los diversos factores productivos tal y como sucedió en Alemania y Francia durante el siglo XVIII, en los Estados Unidos durante el XIX, en los países escandinavos al inicio del siglo XX, en Japón a mediados del siglo pasado, y en Corea de Sur, Taiwán, Hong Kong y Singapur en la última parte de dicho siglo (Lin, 2013).

El poder computacional y el acceso a la recopilación y almacenamiento de datos como desarrollos recientes han permitido el surgimiento de visiones y técnicas metodológicas novedosas que han logrado formalizar y probar estadísticamente la tesis del desarrollo basada en la acumulación de capacidades y la existencia de procesos locales de aprendizaje (Hausmann *et al.*, 2013; Hidalgo, 2007 y 2009). Una de las teorías más importantes referente a este tema se denomina complejidad económica y fue propuesta por Hidalgo y Hausman (2009). Esta, permite construir un índice de complejidad de exportaciones, ofreciendo un ranking de países y de productos ordenados en función de su complejidad económica como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2: Ranking de países por complejidad económica fuente: worldbank, 2018

Ranking	Variación	País
1	0	Japón
2	1	Suiza
3	-1	Alemania
4	11	Corea del Sur
5	7	Singapur
6	-2	Suecia
7	0	Austria
8	-3	Finlandia
9	1	Rep. Checa
10	-4	Reino Unido
11	3	Eslovenia
12	-4	Estados Unidos
13	12	Hungría
14	2	Eslovaquia
15	-4	Italia
16	-7	Francia
17	2	Israel
18	-5	Irlanda
19	1	Dinamarca
20	-3	Bélgica
51	13	El Salvador
52	4	Colombia
53	-3	Grecia
54	6	Rep. de Macedo
55	-3	Uruguay
56	28	Vietnam

Lo anterior se establece partiendo de la idea de que la exportación, y por tanto la producción, de un determinado producto requiere un conjunto de habilidades específicas, que pueden ser medidas indirectamente a través de las capacidades disponibles en un país o región (Kumar, 2010). Haciendo una analogía con Lego, se puede decir que cada capacidad puede ser vista como una pieza de Lego, un producto es equivalente a una construcción de piezas Lego, y un país es equivalente a una cubeta de Legos. Así los países o regiones podrán hacer ciertos productos si cuentan con todas las capacidades necesarias. En consecuencia, la complejidad económica es equivalente a preguntar si podemos inferir propiedades de las piezas de Legos (capacidades) mirando sólo los

modelos construidos (Hausmann, 2009). La evidencia manifiesta que es posible, por ende, se pueden diferenciar parámetros que pueden ser medidos y contrastados cómo la Ventaja Comparativa Revelada (RCA), el Índice de Complejidad Económica (ECI) el Índice de Complejidad del Producto (PCI) y la Distancia Tecnológica entre Productos.

2.3.2 La ventaja comparativa revelada

A pesar que “las capacidades no son claramente conmensurables puesto que son irreductiblemente diversas” (Sen, 2015) hoy en día, es posible cuantificar las capacidades productivas de las economías haciendo uso de la teoría de la complejidad económica, la cual hace mediciones sobre la sofisticación de la estructura productiva de una entidad. La ventaja comparativa revelada está relacionada principalmente con los países y los productos. Según Balassa (1965) “un país tiene una ventaja comparativa revelada en un producto si exporta más de su participación «justa», es decir, una participación que es igual a la participación en el comercio mundial total que representa el producto”.

Pongamos un ejemplo para hacer más entendible el concepto. Supongamos que, en el año “x”, hubo exportaciones de producto “y” de aproximadamente \$100, lo cual representó el 0.35% del comercio mundial. De todo lo exportado, Colombia exportó \$2, y en ese mismo año las exportaciones totales de Colombia fueron de \$21 Si hacemos el cálculo y dividimos los \$2 de “y” que exportó Colombia entre las exportaciones totales del país (\$21), tenemos que la exportación de “y” representó el 9.5% de las exportaciones de Colombia en el años “x”. Ahora, si dividimos el 9.5% entre el 0.35% que es el porcentaje de exportaciones de “y” a nivel mundial obtenemos 27, lo cual quiere decir

que Colombia está exportando 27 veces más la “parte justa” que le corresponde, por lo cual tiene Ventaja Comparativa Revelada en la exportación del producto “y”.

De este modo, la VCR de un país en un determinado producto, se define como el cociente entre el peso de las exportaciones un dicho producto en las exportaciones totales del país y el peso de dicho producto en las exportaciones totales a nivel mundial (Ackoff, 2000). Si el valor de VCR es mayor (o igual) que uno para un determinado producto y país, implica que el peso de dicho producto en las exportaciones totales del país es mayor (o igual) que a nivel mundial, en cuyo caso se puede concluir que dicho país tiene un nivel de especialización elevado en dicho producto. Por tanto, cuando el índice es mayor o igual que uno, se considera que el país presenta ventaja comparativa revelada en la exportación de un determinado producto. Intuitivamente, si un país es capaz de exportar un producto con ventaja comparativa revelada, se debe a que posee las capacidades necesarias y específicas, tales como los conocimientos adquiridos por los trabajadores, las instituciones necesarias, maquinaria específica, y los insumos públicos entre otras (Davidsson, 2015).

2.3.3 Diversificación y ubicuidad

La complejidad económica se compone de dos conceptos: diversificación y ubicuidad. La diversificación se define como el número de productos que un país exporta con ventaja comparativa revelada, mientras que la ubicuidad es el número de países que exportan un determinado producto con ventaja comparativa revelada (Hausmann, Klinger, 2008). De este modo, la diversificación y la ubicuidad constituyen una medida sencilla de la complejidad económica de un país y de un producto respectivamente. Un

país será tanto más complejo, cuanto mayor sea su diversificación; un producto será tanto más complejo, cuanto menor sea su ubicuidad. Asimismo, la complejidad de un producto representa el conjunto de habilidades específicas requeridas en su producción, mientras que la complejidad de un país hace referencia al conjunto de habilidades disponibles en dicha economía (Hausmann, 2009).

De este modo, un país con un alto grado de diversificación presenta un conjunto amplio de capacidades específicas, mientras que un producto con un nivel bajo de ubicuidad, requiere de un conjunto más exclusivo de capacidades. En consecuencia, el concepto de complejidad, está asociado al conjunto de capacidades específicas que posee un determinado país (complejidad económica por país), y al conjunto de capacidades requeridas en la producción de un determinado producto (complejidad económica por producto) (Hausmann, 2009).

A modo ilustrativo, en la Figura 8 se muestra la ubicuidad media de los productos exportados con ventaja comparativa revelada en el eje de ordenadas, frente a la diversificación en el eje de abscisas para un conjunto de 125 países. Las líneas de división vertical y horizontal muestran la diversificación y la ubicación media en promedio del conjunto de países considerados, lo que nos permite dividir la figura en cuatro cuadrantes distintos. Colombia se sitúa en el cuadrante formado por el conjunto de países con un grado de diversificación por debajo de la media, y cuya ubicuidad media se encuentra por encima del promedio a nivel mundial. Es decir, países que exportan un número de productos con ventaja comparativa revelada por debajo de la media y en donde la complejidad media de los productos exportados se sitúa por debajo de la media.

haciendo grandes esfuerzos por consolidarse dentro de las cadenas globales de valor con sus productos a través del valor agregado que puede ofrecer la tecnología. Este proceso es complejo y requiere la sinergia de muchos entes: la academia, el estado y las empresas deben trabajar juntas y articular sus esfuerzos para para identificar y priorizar las necesidades tecnológicas, de investigación y de innovación a medio o largo plazo.

Entre los proyectos destacados se encuentran las plataformas tecnológicas, los proyectos de investigación, las iniciativas gubernamentales y herramientas de diagnóstico transversales, todas buscan desde diferentes frentes apostar a la industria 4.0 y se presenta su definición y principales iniciativas a continuación.

2.4.1 Plataformas tecnológicas

Las Plataformas Tecnológicas son estructuras público-privadas de trabajo en equipo lideradas por la industria, en las que todos los agentes de Ciencia-Tecnología-Innovación interesados en un campo tecnológico trabajan conjunta y coordinadamente Su principal objetivo es conseguir los avances científicos y tecnológicos que aseguren la competitividad, la sostenibilidad y el crecimiento del tejido empresarial, alineando las estrategias de los diferentes agentes y concentrando los esfuerzos de I+D+i (Ungerma, Dedkova, & Gurinova, 2018).

La colaboración en plataformas tecnológicas tiene muchas ventajas para las entidades, ya que constituyen un foro de vigilancia tecnológica que proporciona información de primera mano acerca del estado de la tecnología en cada una de las áreas de actividad de un sector, permiten el traslado de los intereses de los participantes de una manera eficaz a las administraciones públicas, facilitan el establecimiento de alianzas con otras organizaciones con iguales intereses, fortaleciéndose las oportunidades de negocio en cooperación,

representan un canal excelente para la internacionalización y permiten reflejar el grado de interés de una región o país en un determinado ámbito (Ungerma, Dedkova, & Gurinova, 2018).

Cada vez es más común este tipo de asociaciones, a continuación, se destacan aquellas plataformas tecnológicas y entidades asociadas relacionadas con la industria manufacturera del futuro en la Tabla 3 (Westkämper, 2008).

Tabla 3 Plataformas tecnológicas y entidades asociadas relacionadas con la industria manufacturera del futuro. Fuente: elaboración propia adaptado de Westkämper, E. (2008). Manufacture and sustainable manufacturing. In Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier

Acrónimo	Nombre	Objetivos
Manufuture	Plataforma tecnológica europea de Tecnologías para la Fabricación del futuro	<ul style="list-style-type: none"> · Competitividad de la industria de fabricación. · Liderazgo en tecnologías de fabricación. · Productos y fabricación sostenible medioambientalmente. · Liderazgo en productos y procesos, además de en valores culturales, éticos y sociales.
EFFRA	European factories of the future reserarch association	promover el desarrollo de tecnologías de producción nuevas e innovadoras. principal interlocutor entre la Unión Europea y el sector privado en lo referente a la investigación sobre la futura evolución de las fábricas europeas.
WFCP	Industry for the future	Plataforma rusa que pretende asistir a empresas y centros de investigación Desarrollo de productos con altas especificaciones técnicas
OMP	Open manufacturing plattform	Plataforma alemana liderada por BMW que busca asociar industriales para sobrelevar retos tecnológicos asociados con producción y logística
	Sight machine	Plataforma tecnológica estadounidense que pretende hacer de la industria manufacturera más fuerte, sustentable y resiliente a partir de asociaciones entre industrias y sinergias en proyectos de alta tecnología

2.4.2 Proyectos de investigación

Con el fin de conocer las iniciativas relevantes en materia de investigación, se han revisado los proyectos de investigación y desarrollo más recientes y destacados a nivel europeo y americano en el ámbito de la fabricación avanzada. Se ha elaborado una tabla con

los datos básicos de cada proyecto más una relación de las entidades que forman el consorcio, acompañada de unas palabras clave que describen la investigación llevada a cabo (Slobodan, 2018).

Algunos de las materias relacionadas con la industria 4.0 sobre las que se está investigando en este campo son: Sistemas de procesamiento de información en tiempo real / Sistemas de ayuda a la decisión, formación y capacitación de empleados para la industria del futuro, monitorización de instalaciones y maquinaria, redes de sensores y dispositivos móviles, sistemas robóticos inteligentes y cooperativos, eficiencia energética y ahorro de energía, interoperabilidad / flexibilidad, optimización de procesos de fabricación y plataformas cloud para el desarrollo de ecosistemas de aplicaciones. Algunos proyectos relevantes y recientes en el ámbito de la fabricación avanzada son:

Tabla 4 Tabla 4 Proyectos de I+D+i internacionales relacionados con Fabricación Avanzada. Fuente elaboración propia a partir de: Slobodan, P. L. (2018). Predikcija indeksa telesne mase (ITM) i fizičke aktivnosti roditelja na fizičku aktivnost učenika na času fi

Proyecto I+D+i	Nombre	Definición
AMELI 4.0	Micro-electromechanical system for condition monitoring in Industry 4.0	Proyecto financiado por el Ministerio Federal Alemán de Ciencia e Investigación (BMBF) cuyo objetivo es desarrollar el sistema de sensores del futuro para la fabricación conectada o Industria 4.0. El sistema está destinado a supervisar la maquinaria y detectar inmediatamente desviaciones de su estado de funcionamiento normal a través de la medición del ruido con sensores MEMS, que presentan grandes ventajas, pero que no han sido explotados todavía en un ambiente industrial.
FACT4WORKERS	Worker-Centric Workplaces in Smart Factories	Proyecto H2020 que desarrolla diferentes soluciones que permiten la integración de elementos de conocimiento incremental sobre la planta de producción. Estas soluciones potenciarán la capacidad de los trabajadores en las plantas de fábricas inteligentes con infraestructuras TIC.
FITMAN	Worker-Centric Workplaces in Smart Factories	Proyecto del VII PM con la misión global de proporcionar un conjunto de ensayos-piloto llevados a cabo en diferentes subsectores (automoción, aeronáutica, electrodomésticos, muebles, textil / confección, iluminación LED, plástico, construcción) de fabricación con el fin de evaluar la idoneidad, utilidad y flexibilidad de los componentes desarrollados en el proyecto FIWARE activadores genéricos y específicos) además de contribuir a la sostenibilidad
X-ACT	Expert cooperative robots for highly skilled operations for the factory of the future	Proyecto cuyo objetivo es aumentar la incorporación de sistemas robóticos inteligentes y cooperativos en las fábricas europeas. Se trata de mejorar y madurar los robots de doble brazo para cooperar con los operadores humanos en las industrias, como una tecnología más de producción fiable.
PROVET 4.0	Professional Development of VET learners and industrial workers for the new industrial revolution 4.0	El proyecto, financiado por el Programa de Aprendizaje Permanente de la Unión Europea, tiene como objetivo aumentar la relevancia en el mercado de trabajo de la Formación Profesional, ofreciendo un currículo innovador y orientado al empleo que responda a las necesidades de la industria y que permita cualificar a los alumnos/as de FP y a los trabajadores/as industriales para la nueva revolución industrial 4.0.
Co-FACTOR	Cooperate, Communicate and Connect to boost smart Components for tomorrows Industry	Iniciativa europea para promocionar el desarrollo de dispositivos con nuevas capacidades inteligentes (componentes inteligentes) en la industria. Trata de fusionar sectores tradicionalmente separados, TIC y Fabricación, en el nuevo paradigma del Internet de las Cosas o la Industria 4.0.
MEMAN	Integral Material and Energy flow management in manufacturing metal mechanic sector	Este proyecto pretende mejorar la competitividad del sector metal-mecánico a través de la validación de nuevos modelos de negocio que permiten la colaboración de empresas a lo largo de toda la cadena de valor, con el objetivo de reducir los impactos globales en términos de energía y otros recursos

2.4.3 Iniciativas gubernamentales en industria 4.0

Alemania, China y Estados Unidos son los países con mayor desempeño manufacturero exportador pese a sus diferencias estructurales e históricas, sin embargo los esfuerzos por la reactivación industrial parece una prioridad para muchos países en el mundo dado que los encadenamientos internos del sector manufacturero y sus relaciones con los demás sectores provocan un incremento y expansión de la productividad de los sectores, inducido por la demanda (Feijó,& Lamonica, 2012).

Según Naselli (2014), la industria promueve el crecimiento económico dinámico, permeando a diferentes sectores de la economía y se debe evitar que la industria nacional de bienes de capital se debilite, también afirma que la tecnología y la industria van de la mano, por lo que incorporar tecnologías modernas conduce a la transformación industrial, mejora la productividad del trabajo y optimiza la estructura productiva, por consiguiente, la economía del país se vería afectada positivamente a largo plazo por el desarrollo de un sector industrial avanzado, al mejorar los estándares de productividad y competitividad. (Naselli & Leibas, 2014).

La dinámica está dada por los gobiernos, la industria y la sociedad que interactúan entre si para generar elementos internos de valor y fuerzas competitivas del mercado que se desarrollan a través del sector industrial los clientes, proveedores y las competencias nacionales o internaciones, un modelo gráfico explicativo de estas interacciones puede verse a continuación en la Figura 9.

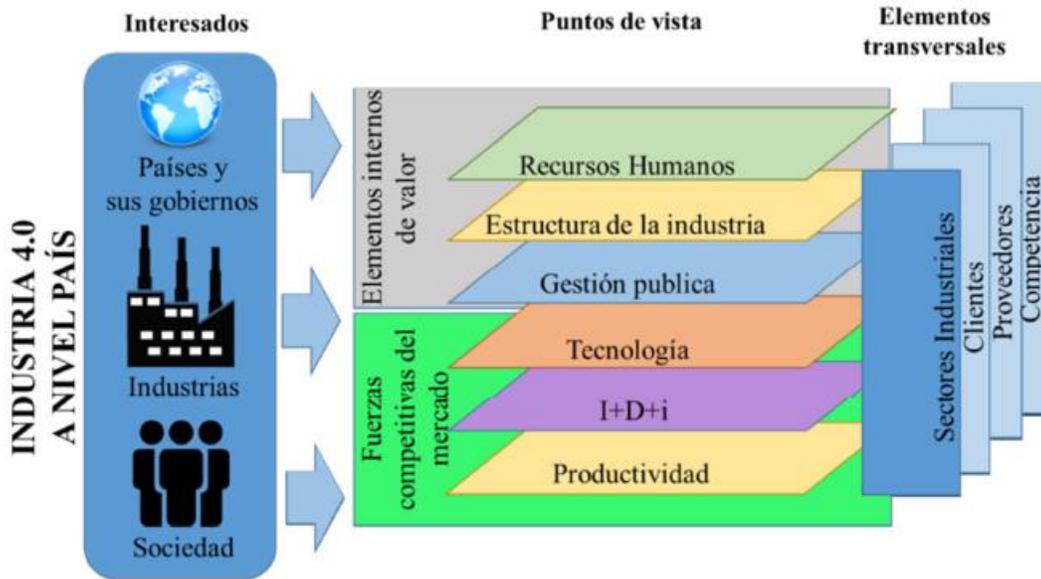


Figura 9 Modelo explicativo de la Industria 4.0 a nivel país. Fuente: De política industrial y otras cuestiones.(Editorial Melipal) Recuperado el 20 de Marzo de 2017(Naselli & Leibas, 2014).

Con el objetivo de ilustrar diferentes iniciativas de países a continuación se describen las principales características, objetivos y resultados de diferentes países; unos líderes como Alemania, Estados Unidos y China y casos latinos como México. También se incluyen las diversas acciones que se han adelantado en Colombia frente a este tema.

2.4.3.1 Caso Alemania

Alemania es un referente en la capacidad de capturar los beneficios de la globalización y el crecimiento del comercio internacional. Son los productores de máquinas herramienta, maquinaria electrónica, las industrias química y automotriz y la fabricación de equipamiento médico, óptico o de precisión. El desarrollo de la industria colocó al país como segundo productor de manufacturas entre los países industrializados, contando con la mayor participación en el valor agregado (junto con Estados Unidos) en algunos sectores claves como la producción de automóviles y máquinas herramienta (Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013).

A pesar de los elevados costos de la fuerza de trabajo, de las materias primas y de la energía, Alemania cuenta con factores favorables, como la ubicación geográfica y, en general, con una fuerza de trabajo motivada y capacitada, una estructura productiva dinámica compuesta por empresas de diversos tamaños y de diferentes ramas de actividad (Singer & Friedman, 2013).

Este país también juega un papel determinante en la creación de tecnologías y productos para la generación de energías renovables y de eficiencia energética. Alemania se propuso el cierre total de las plantas nucleares para el año 2022 y dejar de depender de los combustibles fósiles impulsando los renovables de tal manera que se ha convertido en un referente mundial en políticas climáticas.

La nueva apuesta a futuro es la estrategia orientada al desarrollo I4.0 basada en la integración de sistemas de producción ciber físicos en manufactura y logística, al uso de internet de las cosas y los servicios en los procesos industriales (Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013).

2.4.3.2 Caso Estados Unidos

Para reforzar los intercambios entre las universidades y la industria, el Comité Directivo de la Asociación de Manufactura Avanzada (AMPSC, por sus siglas en inglés) identificó necesidades críticas. Una de las recomendaciones fue aumentar la formación en ingeniería, creando programas donde los graduados tengan un conocimiento real de la manufactura en cuanto a las tecnologías y sobre las perspectivas operacionales (Singer & Friedman, 2013).

La creación de la Red Nacional para la Innovación en la Manufactura constituye una vasta red de centros que aceleran el desarrollo y la innovación, además de contribuir a la adopción de la manufactura avanzada en el país. Durante 2013 y

2017 se buscó consolidar un fondo de inversión de mil millones repartido entre el gobierno, el sector privado y otros recursos no federales para organizar una red de investigación aplicada en manufactura avanzada y aditiva.

En 2014 se lanzó la iniciativa Manufacturing USA, que pretende la creación de una estructura organizativa de apoyo público-privado para el desarrollo de la digitalización en la industria, el fomento a la investigación aplicada y el diseño de nuevas redes que faciliten la información y competitividad. La iniciativa plantea estrategias, acuerdos de colaboración y actividades detalladas en la Tabla 5.

Tabla 5 Estrategias planteadas por Estados Unidos para posicionarse en la manufactura avanzada. Fuente CEPAL, 2018

Estrategias para posicionarse en la manufactura digital	Acuerdos de colaboración interinstitucional para reforzar la vinculación y transferencia de conocimientos	Principales actividades emprendidas
<p>Creación del Programa Nacional de Manufactura Avanzada.</p> <p>Principales medidas:</p> <ul style="list-style-type: none"> o Aumento del volumen y calidad del gasto en I+D con planes a largo plazo. o Apoyos específicos para tecnologías emergentes. o Difusión de clústeres tecnológicos, con capacidad de investigación conjunta. o Cambio de estrategia comercial frente a los países asiáticos. o Aumentar la capacidad de la fuerza de trabajo en ingeniería, matemáticas y ciencias. o Política de expansión de la reserva federal para inyectar liquidez a la economía. 	<p>Creación de la oficina para implementación del Programa de Manufactura Avanzada con estrecha vinculación con la industria y la academia.</p> <p>El programa federal de Asociación para la Manufactura (MEP) provee asistencia técnica a las pymes para incorporarse a las cadenas.</p> <p>Creación de nuevos programas a nivel de las universidades para asegurar el liderazgo en manufactura avanzada.</p> <p>Creación de un fondo nacional a nivel gubernamental para Manufacturing Fellowship and Veterans.</p> <p>La industria se compromete a incluir jóvenes graduados en programas conjuntos con la universidad.</p> <p>Organizaciones intermedias que desarrollan un trabajo colaborativo por sector.</p> <p>Creación de la Red Nacional de Institutos para la Innovación en Manufactura.</p> <p>Red Nacional para la Innovación de Manufactura (NNMI) en 2014 se transformó en Manufacturing USA.</p>	<p>Elaborar pronósticos sobre diferentes áreas: defensa, energía, salud, seguridad, mercados globales.</p> <p>Construcción de mapas de rutas críticas para la obtener objetivos específicos, con plazos y fondos estables.</p> <p>Creación de un Portal Nacional sobre Manufactura Avanzada.</p> <p>Mejoras en la política comercial y en el clima de negocios.</p> <p>Actualización de la política energética.</p> <p>Red de Manufacturing USA creación de 8 institutos de enlace e investigación avanzada.</p> <p>Creación de FabLAB.</p>

2.4.3.3 Caso China

La integración de la revolución de las tecnologías informáticas ha desencadenado transformaciones industriales de gran alcance y nuevos métodos de

producción, patrones industriales, modelos comerciales, crecimiento económico y transformación de la estructura institucional y formativa de los países industrializados. China no está ajena a estos cambios. Desde 1999 bajo el lema “Going Global” incentivó la inversión en el exterior de sus empresas para aprovechar las ventajas de la globalización. Con el desarrollo de nuevos tipos de industrialización, urbanización y modernización agrícola se reactivó una demanda interna deprimida que estimuló la fabricación en China. La demanda aumentó en muchos sectores, desde equipos industriales hasta consumo privado, servicios públicos, lo que requiere una mejora rápida de las tecnologías de fabricación y de la innovación, pero también mejorar la calidad y dar más seguridad en los productos básicos conjuntamente con una infraestructura adecuada. El aumento de las adquisiciones chinas en el extranjero durante la última década responde a la decisión estratégica de los grupos locales de expandirse para abrir nuevos mercados y acceder a la tecnología avanzada (Wübbecke y Conrad, 2015).

Las metas estratégicas de crecimiento de Made in China se plantearon en cuatro pasos:

- En 2020 haber alcanzado la fabricación digital. Por ello, la idea es dominar el núcleo básico tecnológico (digitalización, redes e informatización); mejorar la calidad de los productos, y disminuir el consumo de energía y las emisiones contaminantes de las principales industrias. Para 2020 se plantea contar con 40% de suministros clave provenientes de fuentes nacionales, con el objetivo de remitir gradualmente los problemas en la cadena de valor.

- En 2025 el interés será mejorar la calidad general de la fabricación, la capacidad de innovación juntamente con una mayor productividad. Apoyar el desarrollo de clústeres y empresas multinacionales con competitividad internacional.
- En el año 2035, la fabricación china alcanzará un nivel intermedio entre las potencias manufactureras mundiales. Continuando las mejoras de calidad y la digitalización de la producción, la consolidación de talentos para conducir los procesos, a través de mecanismos pragmáticos para capacitar personal de dirección y administrativo que pueda satisfacer las demandas de la fabricación moderna.
- Para el 2050, en el centenario de la fundación de la nueva China, el sector manufacturero se consolidará para convertir a este país en un líder entre los industrializados (Li, 2017).

2.4.3.4 Caso México

En México durante las últimas dos décadas se han experimentado cambios importantes en la estructura organizativa de las empresas y la articulación de las cadenas de valor. Estas transformaciones modificaron sustancialmente las relaciones entre los diferentes agentes económicos y sociales (empresas, sectores, regiones, gobierno, sociedad civil, investigadores y programas de posgrado). Actualmente, las transformaciones de los procesos de fabricación digital plantean nuevas interrogantes, especialmente en ciertas formas de organización industrial y regulación. A diferencia de otros casos, en México no existe una única orientación de política industrial y científica que busque dirigir la reindustrialización digital (Lasi et al. 2014)..

El Programa Especial de Ciencia Tecnología e Innovación (PECiTI) 2014-2018 perfiló la importancia de la manufactura avanzada en la producción, y se establecieron prioridades nacionales para el desarrollo de software, energía y salud. Por otro lado, las iniciativas adoptadas por Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) buscan desarrollar un estímulo a la innovación conformando un entorno convergente a nivel del conocimiento, de la investigación y el financiamiento de nuevos campos en la digitalización en la producción.

Por otra parte, paulatinamente han surgido iniciativas a nivel estatal, en las organizaciones intermedias (FCCyT, FUMEC, CANIETI) en los organismos públicos vinculados con la industrialización (Secretaría de Economía, Conacyt, ProMéxico) por reflexionar y revisar experiencias internacionales, con la finalidad de divulgar y concientizar a los agentes públicos y privados sobre la naturaleza y alcance de los cambios tecnológicos y las nuevas fases industriales.

En diferentes regiones del país se generaron agrupamientos industriales (Baja California, Chihuahua, Jalisco, Querétaro, Aguascalientes y Nuevo León) donde se iniciaron dinámicas productivas y sociales, que aunadas a los esfuerzos de inversión y fortalecimiento institucional de los gobiernos estatales desarrollaron un capital social capaz de promover comportamientos emprendedores e integrar a nuevos grupos productivos y académicos en la circulación de la información y la realización de proyectos comunes (Lasi et al. 2014). Esta colaboración no es solo producto de la coincidencia geográfica, sino que la búsqueda por mejorar las condiciones organizativas y los aprendizajes acumulados abrieron nuevas vías de intercambios entre los sectores productivos y la investigación (centros públicos de investigación, universidades, institutos tecnológicos). El intercambio de conocimiento tácito y la

formalización de procesos de aprendizaje y mejoras en la productividad de las empresas constituyeron una infraestructura institucional de apoyo a la innovación, que a pesar de las fluctuaciones económicas y políticas complejizó los intercambios (tecnológicos, asociativos y de capacitación) ahora útiles para el desarrollo de la Industria 4.0 (Rodríguez & Jiménez, 2005).

2.4.3.5 Caso Colombia

En Colombia, la iniciativa de industria 4.0 está relacionada al CONPES Política nacional de ciencia, tecnología e innovación 2015 – 2025. “Como parte de la estrategia de Competitividad e Infraestructura estratégicas, se definió que el país debe contar con una visión de largo plazo de ciencia, tecnología e innovación (CTI). Dónde se planteó como retos incrementar la productividad de la industria, aumentar la competitividad, generar empleos de valor agregado y fortalecer las cadenas de valor. Todo lo anterior alineado en preparar a Colombia y la región para las transformaciones económicas asociadas a las nuevas tecnologías y crear mecanismos participativos y de colaboración público-privada para la optimización de políticas y servicios sociales, aprovechando las nuevas tecnologías (Colombia. Consejo nacional de política económica y social, 2015)

A partir de la Ley 1450, 2011. El Estado ha provisto del Programa de Transformación Productiva (PTP), que tiene por objeto “la implementación de estrategias público privadas y el aprovechamiento de ventajas comparativas para la mejora en productividad y competitividad de la industria, en el marco de la Política de Desarrollo Productivo del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, además podrán de establecer “convenios de cooperación internacional, convenios con

organizaciones privadas, convenios con entes territoriales y transferencias de otras entidades públicas de orden nacional y regional” (Colombia. Congreso de la república de Colombia ley 1450, 2011) .

En Medellín en el año 2019 se inauguró el Centro para la Cuarta Revolución Industrial, el centro, afiliado al Foro Económico Mundial, hace parte de una red que cuenta con ciudades como San Francisco, Tokyo y Beijing y está enfocado en la generación de conocimiento entorno a las tecnologías emergentes para América Latina. El Centro se enfocará, en seis frentes de trabajo que son Mejoramiento en los procesos y efectividad en la labor por parte de las entidades de control a través de la Inteligencia Artificial, fortalecimiento de la política criminal y la seguridad ciudadana a través del uso de herramientas de Inteligencia Artificial, infraestructura TIC para la equidad, internet de las Cosas para mejorar la movilidad y políticas Públicas para la adopción de Blockchain.

2.4.3.6 Generalidades en las iniciativas

Es importante resaltar que en todos los países analizados, para el impulso a la industria 4.0, se formaron grupos de estudios interinstitucionales y multidisciplinarios, para discutir, orientar y formar consenso sobre los problemas centrales en materia de: diagnóstico de sectores productivos, creación de estándares y normas para facilitar la integración, impulso a la I+D para generar nuevos escenarios, adecuación del marco legal, construcción de casos exitosos y recomendaciones prácticas para la integración.

Por tanto, el levantamiento de información y la formalización de datos ha sido el resultado de estudios previos de diagnóstico para identificar las condiciones técnicas y políticas adecuadas, que permitan aprovechar las oportunidades que plantean las tecnologías digitales en la producción, para direccionar esfuerzos.

2.4.4 Modelos de diagnósticos trasversales

Existe una gran bibliografía de modelos desarrollados alrededor del mundo que buscan identificar las condiciones técnicas y políticas adecuadas, que permitan aprovechar las oportunidades que plantean las tecnologías digitales en la producción, con la intención de fortalecer la estructura productiva mediante la coordinación y la reorientación de acciones públicas y privadas para alcanzar nuevos objetivos industriales. Muchos de ellos son impulsados por países o regiones que quieren aprovechar y diversificar sus ventajas competitivas y lo hacen con el fin de conocer a fondo sus empresas y sectores para encaminar la toma de decisiones.

El presente trabajo busca describir un instrumento de este tipo. A continuación, se analizan seis propuestas de para la transformación de una compañía hacia la industria 4.0 que serán profundizadas en el apartado de metodología.

Tabla 6: Iniciativas de diagnóstico transversal en el mundo. Fuente: Elaboración propia

Nombre	Origen	Objetivo
Impuls. Industry 4.0 Readiness Online Self-Check for Businesses	Alemania	Calcula una puntuación del estado de la empresa que permite conocer en qué aspectos se está ya preparado y en cuales aún hay campo de mejora
Industry 4.0 Self-Assessment	EEUU	Evalúa la posición de las empresas en lo que refiere al nuevo paradigma de la industria 4.0. Para ello, mide la posición actual de la compañía frente al nivel de madurez deseado a lo largo de seis dimensiones
Time to Accelerate in the Race Toward Industry 4.0	EEUU	evaluar el grado de adopción de la Industria 4.0 en estos países e identificar los principales retos y desafíos que supone su implementación.
TECNALIA	España	Pretende tener una visión de todos aquellos aspectos y características que influyen en la transformación industrial y establecer oportunidades de mejora e impacto relevante, identificar nuevos servicios y Obtener una hoja de ruta hacia el futuro
HADA	España	Evaluar el grado de preparación y madurez de las empresas a la hora de afrontar los retos de la Industria 4.0
Industry 4.0-The Capgemini	Francia	Medir el progreso de transformación digital dentro de las empresas de manufactura , dónde se consideran 7 dimensiones claves
McKinsey Digital	EEUU	Proponer ocho drivers de aporte de valor que debe de gestionar la empresa en su transformación en industria conectada
Chile Transforma	Chile	Localizar ventanas de oportunidad para Chile haciendo uso de la manufactura avanzada, y definir las brechas existentes de toda clase que obstaculizan el proceso.

Como parte final de este ejercicio de reconocimiento de la literatura en torno a la investigación es importante describir las características de la región foco del estudio: La ciudad de Medellín, Colombia. En el siguiente apartado se describen las características de su estructura productiva y las iniciativas que se han llevado a cabo para la consolidación de la industria en la ciudad.

2.5 La industria en Medellín

Medellín es una ciudad ubicada en el centro occidente de Colombia en la cordillera de los andes, es la segunda ciudad más importante de Colombia después de Bogotá y según estudios (Echavarría, J.J.& Villamizar, M, 2006) se evidencia que la

región posee condiciones altamente favorables en relación a competitividad con el resto del país.

La ciudad puede considerarse como la cuna de la industrialización en Colombia, dónde en inicios del siglo pasado se fundaron empresas en sectores de alimentos, bebidas, textiles y tabaco como: Cervecería Antioqueña fundada en 1901, Compañía Antioqueña de Tejidos (1902), Posada y Tobón –hoy Postobón– (1904), Coltejer (1907), Noel (1914), Fabricato (1920) (Giraldo, Cerón , 2013) sin embargo, cómo lo evidencian algunos estudios (Florez, L. & Misas, 2008; Melendez, & Perry, 2010; Rodrik, 2014) la realidad hoy es diferente y el sector manufacturero afronta altas tasas de desempleo y el cierre o reestructuración de la mayoría de las plantas estimulada por la alta obsolescencia, la fuerte política proteccionista contrastada con la competencia derivada de la apertura comercial y los procesos de globalización, el alto endeudamiento, el contrabando relacionado con el narcotráfico, los altos niveles de contaminación de los procesos industriales dada la alta densidad poblacional de la ciudad que a su vez genera altos costos de la tierra para la actividad industrial y dificultades logísticas y de transporte para traer materia prima y sacar el producto terminado.

2.5.1 Estructura productiva de la oferta industrial en Medellín

En Medellín, se han adelantado diversos estudios relacionados con la constitución industrial, su estructura tecnológica, sofisticación y diversificación (Botero & Lotero, 2005; CEPEC, 2009; Mesa & Pérez, 2011; Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2018) que evidencian una amplia atadura a productos primarios y manufacturas basadas en recursos naturales.

La estructura productiva está concentrada en sectores de baja y media-baja intensidad tecnológica, caracterizados en su mayoría por medianas y grandes empresas que generan a su vez la mayor parte de la producción, los activos, el valor agregado y el empleo formal como se puede observar en la Figura 10 y dónde se destacan subsectores como: fabricación de productos metalúrgicos básicos (38%), elaboración de productos alimenticios (18%), fabricación de vehículos automotores, remolques, semirremolques (10%) y fabricación de sustancias y productos químicos (9%) (CMM, 2018).

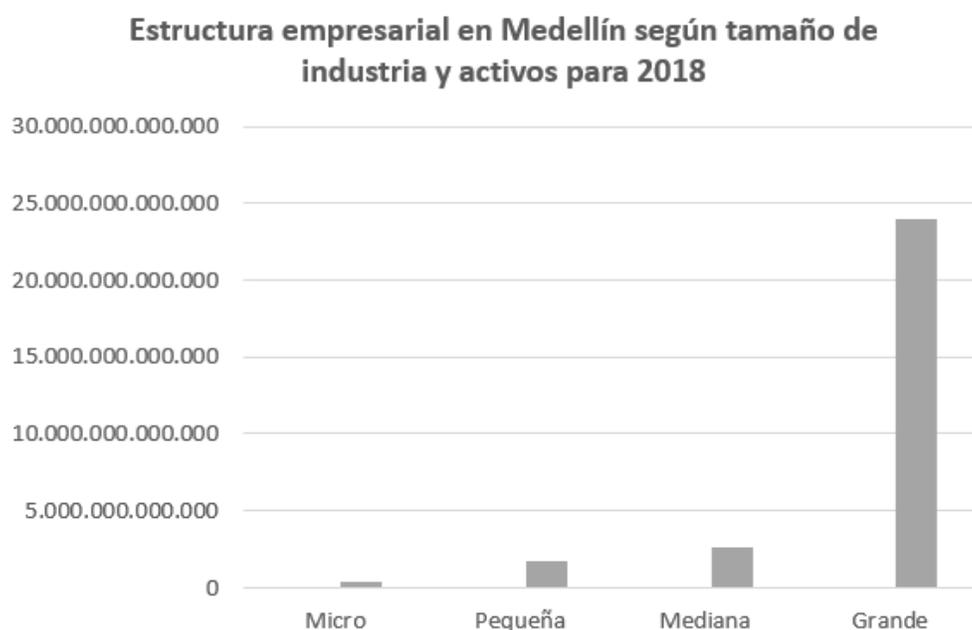


Figura 10 Estructura empresarial en Medellín según tamaño de industria y activos en año 2018. Fuente: elaboración propia a partir de datos de informe de estructura empresarial de Medellín, Cámara de comercio de Medellín, 2018.

Dada la pérdida de participación en las exportaciones nacionales, estudios indican que la posibilidad de crecimiento del sector manufacturero regional puede estar supeditada al éxito de su inserción en los mercados internacionales como se observa en la Figura 11 y sugiere afirmar que la oferta exportable está de espaldas a la dinámica mundial de exportaciones. Como afirma Rodrik (2010), es necesario tener un diagnóstico que permita

identificar las limitaciones particulares y los cuellos de botella específicos para cada sector y producto.

Otros estudios (Alonso & Patiño, 2007; Chica, 2013) sustentan un lento proceso de diversificación, soportado, parcialmente, en productos con niveles medios de tecnología donde se destacan las exportaciones de la industria automotriz con una participación de más de 30 %, y la maquinaria mecánica y de plástico (2,8 %).

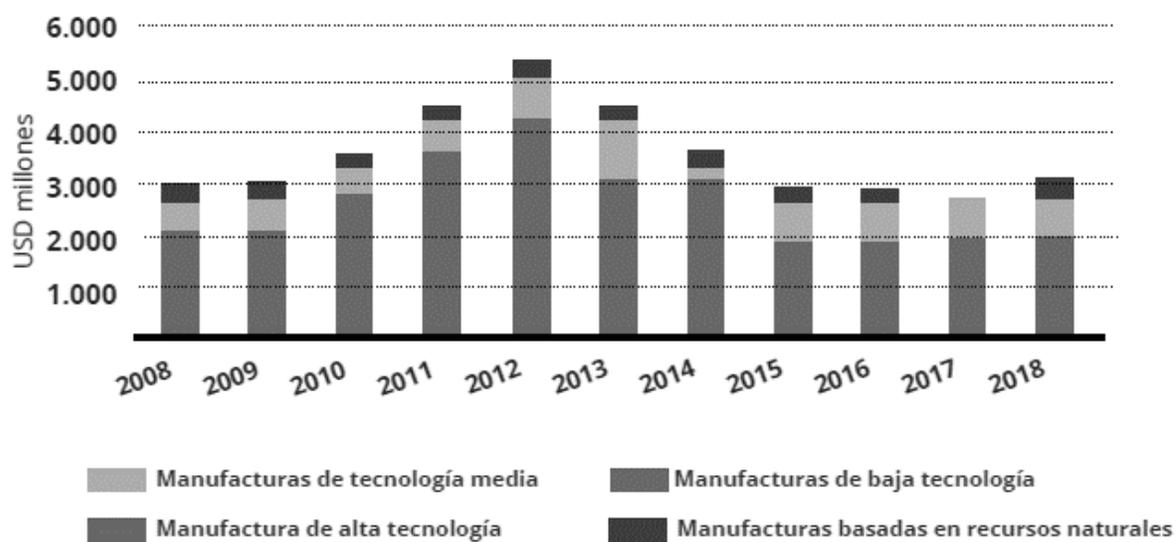


Figura 11 Exportaciones manufactureras en Medellín según intensidad tecnológica . Fuente: CCM(2008-2018) (Cámara de comercio de Medellín para Antioquia).

2.5.2 Iniciativas relacionadas a la estructura industrial en Medellín

A partir de la década de 1990, se comenzaron a realizar estudios para comprender el fenómeno y facilitar la reindustrialización de la ciudad (EAFIT, 2018), la primera iniciativa fue denominada “el estudio monitor y el diamante de competitividad para Medellín” cuya metodología se basa en cuatro elementos clave para determinar el nivel de competitividad de una región y estos son: factores de producción, industrias

relacionadas y de apoyo, demanda y mercado, y estrategia, estructura y competencia (Porter, 2008). El informe concluyó que la ciudad presentaba un sector financiero y de servicios fuerte, un sector educativo medio, mientras los sectores de industria, investigación y transporte podían caracterizarse como débiles; a partir de éste estudio, se desestimuló la inversión en industria entre mediados de la década de 1990 y mediados de los años 2000, enfocándose en consecuencia en el desarrollo de la banca y los servicios, sin embargo, se retomó la discusión sobre la importancia de la industria en la ciudad, dando inicio al programa “Medellín Ciudad *Clúster*” en 2006, dónde articulado al plan de desarrollo de la ciudad se contempló el desarrollo de *clústeres* como una alternativa válida para el fortalecimiento del tejido empresarial alrededor de las actividades económicas con mayor potencial para el crecimiento y competitividad a través de actividades que promovieran su integración y fortalecimiento, buscando tejer y fortalecer la construcción de redes de cooperación y colaboración entre empresas (Cámara de comercio de Medellín para Antioquia, 2003). Esta iniciativa ha evolucionado con el paso del tiempo y las administraciones adaptándose a las nuevas realidades y oportunidades que ofrece el entorno y sigue vigente con los siguientes clústeres: energía sostenible, hábitat sostenible, moda y fabricación avanzada, turismo de negocios, Medellín health city y negocios digitales.

Paralelamente a la estrategia clúster, la ciudad le apuesta al uso del “*Especialización Inteligente*” para proponer nuevas estrategias de promoción industrial y el desarrollo de nuevos sectores productivos. Como se señala en el informe “hacia la transformación productiva de Medellín y el valle de Aburrá”. En este ejercicio se identificaron cuatro áreas de especialización: región inteligente, medicina avanzada y bienestar, desarrollo de alta tecnología y territorio verde y sostenible. A su vez, en cada

uno de ellos se identificaron sectores, subsectores y nichos de especialización dónde se potencien bienes y servicios que poseen un alto potencial hacia el futuro para aumentar la competitividad en la industria de la región. Esta estrategia se realizó en el marco del acuerdo 074 de 2017 dónde se detallan las áreas prorizadas en la política de desarrollo económico de Medellín como se observa en la Tabla 7 (Alcaldía de Medellín, 2010).

Tabla 7 Áreas priorizadas en la política de desarrollo económico de Medellín. (Fuente: ODES con información de acuerdo 074 de 2017)



Estas estrategias se desarrollan con el objetivo de aumentar la competitividad basada en la diferenciación y en la generación de valor añadido, para lo que es necesario inyectar conocimiento en las empresas e innovar teniendo en cuenta las capacidades disponibles en la región, estas capacidades se revisaran en torno a la teoría de la complejidad económica.

2.6 Consideraciones finales

Para finalizar esta fase de revisión de la literatura, es importante reflexionar acerca del reto y la necesidad de integrarse a las nuevas dinámicas económicas mundiales, condicionadas por el uso extensivo de la tecnología en toda la cadena de valor.

En el presente capítulo se han introducido conceptos, diálogos, infraestructuras y hechos históricos que permiten contemplar un panorama cercano a la realidad dónde la industria se ensambla como un eje importante en la economía y la digitalización de esta

establece las nuevas condiciones de juego que permitirán sacar ventaja en cualquier nivel (empresa, ciudad, país etc.) para posicionarse dentro de las cadenas globales de suministros.

A partir de esto, los siguientes capítulos pretenden establecer relaciones entre el contexto (la estructura productiva de la ciudad de Medellín) y la teoría planteada (teoría de la complejidad económica y dinámicas de industria 4.0, especialmente las tecnologías habilitadoras) con la intención de describir una metodología que permita la identificación de subsectores con alto potencial productivo según las capacidades de la región y describir y validar un instrumento a partir de los existentes que permita medir el nivel de implantación del paradigma industria 4.0 en diversas dimensiones empresariales.

Lo anterior para fijar límites que comprometan los nuevos modos específicos de la producción, formular puntos de encuentro, discrepancias y señalar las singularidades en Medellín en la adopción del paradigma.

3. Metodología

En este capítulo se describe el proceso y diseño de la propuesta metodológica el cumplimiento de los objetivos de la investigación.

El objetivo general de la investigación se define como describir y validar un marco de referencia que oriente la implantación del paradigma de Industria 4.0 en la ciudad de Medellín. Un marco de referencia está definido como una serie de acuerdos que empleará un investigador, analista u observador, para a partir de ellos poder estimar una posición en un sistema. En este caso, los acuerdos son de tipo teórico, conceptual, espacial y temporal siguiendo la teoría de aproximación al cambio conceptual o de paradigma propuesta por

Vosniadou, Vamvakoussi, & Skopeliti, (2008) y busca establecer el nivel de puesta en marcha de la transformación , que para la investigación es el cambio hacia el paradigma industria 4.0

Según los autores, definir un marco de referencia hacia un cambio de paradigma requiere evidenciar las condiciones, así la investigación se propone evaluar las condiciones que engranan la implantación del paradigma y pueden ser externas (de estructura económico-industrial de la ciudad) e internas (de la estructura de las empresas) como componentes de la transformación hacia la industria 4.0 a partir de teorías como la de la complejidad económica y la de modelos de diagnóstico transversales que permitan establecer acuerdos y relaciones entre las partes para encaminar la transformación.

En la Figura 12 se puede un observar una representación visual del marco de referencia.

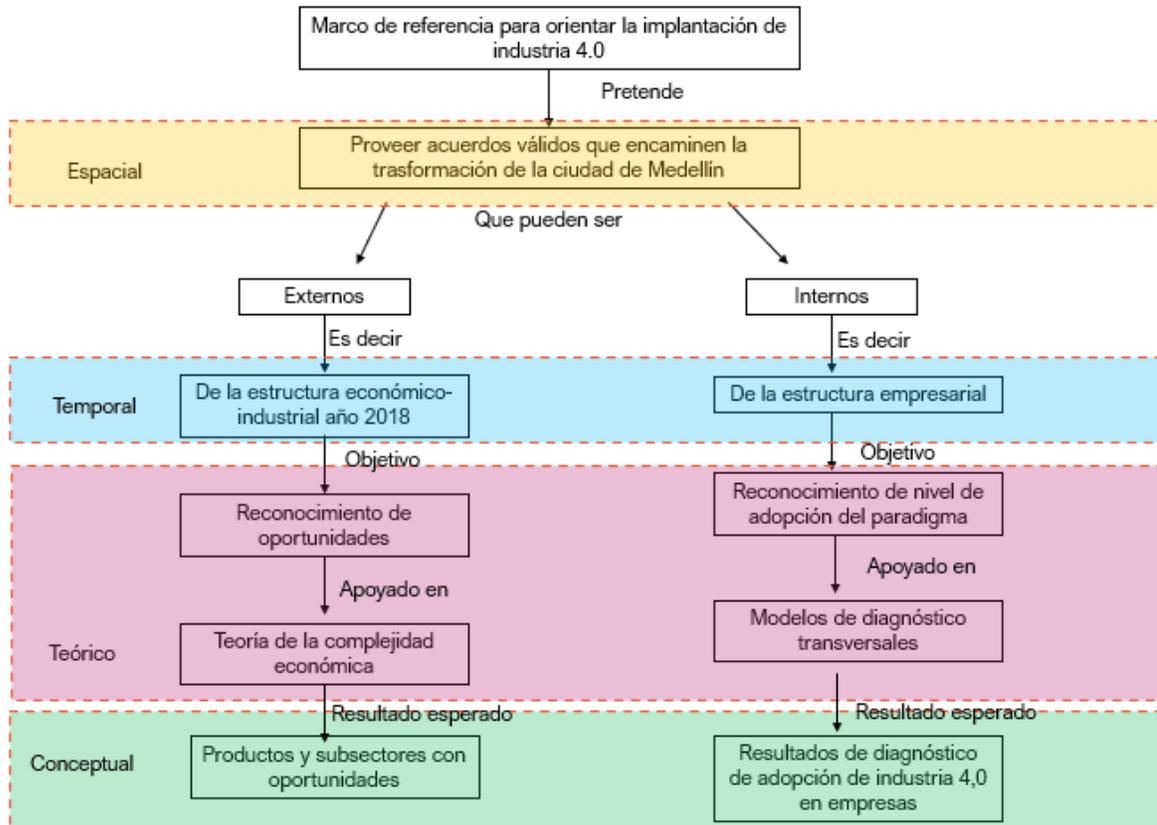


Figura 12 Representación gráfica del marco de referencia para la orientación e industria 4.0. Fuente: Elaboración propia en base a Vosniadou, Vamvakoussi, & Skopeliti, (2008)

3.1 Reconocimiento de oportunidades de diversificación derivadas de las capacidades existentes

En relación al tercer objetivo específico, la metodología surge para reconocer las oportunidades de adopción del paradigma de industria 4.0 para Medellín, derivadas de las capacidades existentes y potenciales que posee la ciudad frente al resto del país en el corto, mediano y largo plazo con base en la teoría de la complejidad económica y los indicadores de densidad, índice de complejidad del producto, índice de complejidad potencial del producto, y valor nacional de las exportaciones por industria.

Para tal propósito, la investigación requiere de un protocolo de estudio que defina características de la población que está estudiando; en este caso asociadas a la estructura

productiva de Medellín. Para dar respuesta, se optó por adoptar el método cuantitativo, haciendo uso del Método de Reflexiones (MR) y la asignación de ponderadores, con base en las variables de la complejidad económica propuestas por Hidalgo Hausmann (2009) y recopilando los datos procedentes del Datlas de complejidad disponible en <http://datlascolombia.bancoldex.com/> (2018).

3.1.1 Aplicación del método de reflexiones

El método de Reflexiones (MR) se usa para mapear la ubicuidad y diversificación industrial en Colombia para el año 2018 (lapso disponible más reciente) con base en la matriz binaria, $M_{s,a}$ que indica las actividades económicas manufactureras en las que se especializan las empresas colombianas, con el objetivo de identificar la posición que ocupa la región de Medellín a nivel nacional en materia de ubicuidad-diversificación industrial, y que permite medir la sofisticación de la estructura productiva de una región, es decir la diversidad contada por el número de productos que exporta un lugar y la ubicuidad de esos productos, entendida como el número de regiones que exportan el mismo producto (Hidalgo Hausmann, 2009).

El primer indicador y el más importante es, la Ventaja Comparativa Revelada (VCR), clave de la complejidad económica, porque refleja si una región posee ventajas comparativas en la elaboración de un bien. Entonces, la VCR de una región (r) en la actividad productiva (α) esta denotada de la siguiente manera en la ecuación (1):

$$(1) \quad VCR_{r,\alpha} = \frac{\frac{x_{r,\alpha}}{\sum_{\alpha'}^n x_{r,\alpha'}}}{\frac{\sum_{r',\alpha}^n x_{r',\alpha}}{\sum_{r',\alpha'}^n x_{r',\alpha'}}}$$

Donde:

$x_{r,\alpha}$ es el total de exportaciones de la región r, en la actividad α

$\sum_{\alpha'}^n x_{r,\alpha'}$ son las exportaciones totales en la región r.

$\sum_{r',\alpha'}^n x_{r',\alpha'}$ representa las exportaciones totales en el sector en todo el país

$\sum_{r',\alpha'}^n x_{r',\alpha'}$ es el total de exportaciones en todo el país.

Si esta relación es mayor que 1, se dice que el lugar tiene ventaja comparativa revelada en dicho sector o producto.

Análogamente también se puede definir la matriz $M_{r,\alpha}$ descrita en la ecuación 2, la cual es igual a 1 si el lugar s tiene una $VCR \geq 1$ y cero en otros casos.

$$(2) \quad M_{r,\alpha} = 1 \text{ si } VCR_{r,\alpha} \geq 1$$

Siguiendo la metodología de Hidalgo Hausmann (2009), la matriz $M_{r,\alpha}$ permite definir el nivel de ubicuidad (ecuación 3) y diversificación (ecuación 4) de los productos y puede representarse también a escala subnacional como $M_{r,\alpha}$. Donde las ciudades están representados por (r), mientras que las a actividades económicas quedan denotadas por (α).

Algebraicamente:

$$(3) \quad \text{Diversificación} = k_{r,0} = \sum_{\alpha=1}^n m_{r, \beta}$$

$$(4) \quad \text{Ubicuidad} = k_{\alpha,0} = \sum_{r=1}^{32} m_{r, \beta}$$

La información obtenida sobre diversificación por departamentos y ubicuidad por producto se relaciona entre sí para obtener los respectivos indicadores de complejidad por región (ecuación 5) y por producto (ecuación 5), luego iterativamente se aplica el método de reflexiones dónde se puede definir una matriz que conecte a las regiones que exportan productos similares, ponderándolas por el inverso de la ubicuidad de un producto (para descontar productos comunes), y normalizando por la diversidad de las regiones; así cuando el valor obtenido de $k_{r,N}$ y $k_{\alpha,N}$ y en una determinada iteración no presenta grandes cambios respecto de la iteración previa, el proceso se detiene dando lugar a dos indicadores de complejidad económica refinados. Es decir, a medida que el número de iteraciones se va incrementando, los indicadores resultantes tienden a su valor medio de la siguiente forma:

$$(5) \quad k_{r,N} = \frac{1}{k_{r,0}} \sum_{\beta} M_{r\beta^k} \quad \beta, N - 1$$

$$(6) \quad k_{\alpha,N} = \frac{1}{k_{\alpha,0}} \sum_r M_{r\beta^k} \quad r, N - 1$$

Dónde

$k_{r,0}$ y $k_{\alpha,0}$ representan respectivamente, los niveles observados de diversificación de una región y de la ubicuidad de una actividad productiva.

Hasta este punto, la metodología ubica a las regiones del país de acuerdo con su respectivo nivel de diversidad y ubiqüidad. Que se representan a través del diagrama de ubiqüidad y diversidad que se construye con las fórmulas (3), (4) y (5).

3.1.2 Definición de rankings de oportunidades

Para definir los rankings de oportunidades identificados por medio de las capacidades, es necesario definir una lista de industrias que podrían promocionarse en aras de vitalizar la estructura productiva.

3.1.3 Variables atlas de la complejidad económica

Mediante el uso de los datos obtenidos de proximidad tecnológica entre productos y las ventajas comparativas reveladas obtenidas a partir de la base de datos DATLAS, es posible saber para cada producto su grado de especialización, medido por el índice de VCR, su posibilidad de diversificación, medida por el grado de densidad, y su nivel de complejidad, lo que permite obtener la relación de productos en los que el área metropolitana de Medellín tiene mayor posibilidades de diversificación según las diferentes categorías de complejidad fijadas en un horizonte de tiempo. Es así que en la definición de estas estrategias de desarrollo se hace referencia a cuatro variables del Atlas de complejidad que son: Densidad (x1), Índice de Complejidad del Producto (x2), Índice de Complejidad Potencial del Producto (x3), y Valor nacional de las exportaciones por industria(x4) que reflejan el mapa de las capacidades productivas actuales y futuras. Tal como se observa en las definiciones a continuación.

- **Densidad de un producto (x1) :** Mide el grado de cercanía relativa que tiene un producto que actualmente no se produce (o se exporta) de manera competitiva en la región con respecto a los bienes que forman parte del perfil de exportación. El indicador estima las capacidades compartidas que tiene dicho producto con respecto a las existentes en el lugar. Analíticamente, permite inferir qué industrias (o productos) tienen mayores posibilidades de desarrollarse en una región al tomar en cuenta la competitividad industrial que se refleja en su perfil de exportación. El indicador de densidad toma valores entre cero y uno. Si una

determinada región exporta todos los productos próximos al producto i con ventaja comparativa revelada, la densidad tomará valor uno. De igual forma, si la región no tiene ventaja comparativa revelada en ninguno de los productos próximos al producto i , la densidad tomará valor cero. De este modo, si un país o región presenta ventaja comparativa revelada en la mayoría de productos relacionados con el producto i , la densidad será elevada, y la probabilidad de que el país desarrolle ventaja comparativa revelada en dicho producto en el futuro será alta. Además, y tal como han demostrado algunos estudios empíricos (Hausman y Klinger, 2007; Boschma et al., 2012), si un país o región presenta ventaja comparativa revelada en la mayoría de productos relacionados con un determinado producto que ya está siendo exportado con ventaja comparativa revelada, la probabilidad de mantener dicha ventaja comparativa será mayor.

El indicador de densidad se relaciona con el de distancia debido a que la distancia mide una discrepancia relativa, mientras que la densidad mide una cercanía relativa (Hidalgo Hausmann, 2009) así que:

$$(7) \text{ Densidad} = 1 - \text{Distancia}$$

- **Índice de complejidad de un producto (x2):** se define como el promedio aritmético del nivel de complejidad de los productos que son competitivos en dicha región. Se dice que un bien es relativamente complejo si pocas regiones lo producen (o exportan) de manera competitiva, y los que sí lo hacen tienden a presentar una economía relativamente diversificada. Implícitamente, esta definición indica que dichos productos requieren de capacidades productivas muy particulares que están disponibles en muy pocas economías regionales. En consecuencia, los productos complejos son elaborados en industrias

relativamente sofisticadas que tienden a presentar un valor agregado elevado (Hidalgo Hausmann, 2009).

- **Índice de complejidad potencial de un producto (x3):** Capta en qué medida un lugar podría beneficiarse mediante el desarrollo de un sector en particular (o un producto de exportación). También conocida como "ganancia de oportunidad", esta medida representa la distancia a todos los otros sectores (o exportaciones) que un lugar no produce actualmente con ventaja comparativa revelada mayor que uno y su respectiva complejidad. Refleja cómo un nuevo sector (o exportación) puede abrir paso a otros sectores o productos más complejos (Hidalgo Hausmann, 2009).

- **Valor nacional de las exportaciones por industria (x4):** monto total de las exportaciones sectoriales expresados en dólares, esta variable le da un peso al hecho de que existe una cierta demanda por el producto en cuestión que se refleja en las exportaciones contemporáneas (Hidalgo Hausmann, 2009).

3.1.4 Normalización de indicadores

Para cada unidad de análisis i , el valor obtenido representa la distancia entre el valor de la variable y la media poblacional, expresada en unidades de desviación estándar. Es importante destacar, que el cálculo de este indicador requiere estimar la media y desviación estándar poblacional y no, la muestral, lo que supondría la realización de algunas pruebas para analizar la compatibilidad entre los valores muestrales y el modelo poblacional asumido a través de la fórmula 8 basada en la guía metodológica de indicadores compuestos de desarrollo sostenible (Schuschny, Soto, 2009).

$$(8) \quad \frac{x_n - x'_n}{\sigma}$$

Una vez normalizadas todas las variables y siguiendo a Castañeda (2018) se determinan las estrategias de selección de oportunidades en función del valor que se le asigna a los ponderadores de las distintas variables.

3.1.5 Definición de estrategias temporales

Se habla de una “estrategia de industrias al alcance” o para el corto plazo cuando se trata de productos que requieren de capacidades relativamente similares a las existentes en la localidad pero que no se exportan o aún no son competitivos en la región. Se define una “estrategia balanceada” o para el mediano plazo cuando se le da un peso identifica oportunidades cuando se le da un peso similar a la sofisticación del producto y a su conectividad con otros productos atractivos y se plantea una “apuesta estratégica” o para el largo plazo cuándo se le da gran importancia a las oportunidades que abre una industria en el espacio de productos.

En todas estas estrategias se consideran exclusivamente productos que ofrecen una complejidad superior al promedio de la localidad, a sabiendas de que una trayectoria hacia una mayor complejidad ofrece mayores posibilidades de progreso económico y el análisis se realiza teniendo en cuenta la siguiente expresión 9.

$$(9) \quad \text{Estrategias de selección} = \sum_{i=1}^n X_i W_i = x_1 w_1 + x_2 w_2 + x_3 w_3 + x_4 w_4$$

Habiendo definido las estrategias, se procede a ponderarlas, es decir asignarles un peso (w) en función de la importancia que cada indicador en particular tiene dentro de cada

estrategia. Tal como se observa a continuación en las fórmulas 10, 11 y 12:

$$(10) \text{ Corto plazo} = x_1 0.7 + x_2 0.1 + x_3 0.1 + x_4 0.1$$

$$(11) \text{ Mediano plazo} = x_1 0.5 + x_2 0.2 + x_3 0.2 + x_4 0.1$$

$$12 \quad \text{Largo plazo} = x_1 0.4 + x_2 0.1 + x_3 0.4 + x_4 0.1$$

3.1.6 Oportunidades de diversificación productiva para Medellín

Como último ítem para identificar posibilidades de diversificación y haciendo uso de los datos previamente obtenidos de proximidad tecnológica entre productos, las ventajas comparativas reveladas y la densidad de cada producto, obtenidas a partir de la base de datos DATLAS, se dispone del grado de especialización, medido por el índice de VCR, su posibilidad de diversificación, medida por el grado de densidad, y su nivel de complejidad, lo que permite obtener la relación de productos en los que la ciudad puede diversificarse con una mayor probabilidad hacia productos de tecnología media-alta.

Lo anterior se propone evidenciar a través de una gráfica que muestre para productos de complejidad media-alta, el grado de especialización o índice de VCR en el eje de ordenadas, frente a la densidad o distancia de los productos respecto de la estructura productiva existente representada en el eje de abscisas, para el conjunto de productos exportados por Medellín en el año 2018.

Únicamente se representarán aquellos productos con una ventaja comparativa revelada inferior a uno, es decir, aquellos productos que se exportan con un nivel de especialización bajo o sin ventaja comparativa (Donoso, Martín, 2016). Las líneas de división

vertical y horizontal representan la densidad media y la ventaja comparativa revelada media de los productos, lo que permite dividir la figura en cuatro cuadrantes distintos.

Todos aquellos productos situados en los cuadrantes segundo y cuarto presentan un nivel de densidad por encima de la media, lo que implica un grado alto de cercanía con la estructura productiva existente y, en consecuencia, una mayor posibilidad de diversificación. Asimismo, los productos que se sitúan en el segundo cuadrante tienen un índice de ventaja comparativa revelada por encima de la media, y en muchos casos cercano a la unidad, lo que incrementa notablemente las posibilidades de diversificación. Por su parte, los productos situados en el tercer cuadrante (C.III) presentan un índice de ventaja comparativa y una densidad por debajo de la media, siendo así productos con bajas posibilidades de diversificación.

La metodología descrita, pretende evidenciar oportunidades según la estructura productiva local con datos de los productos exportables. Sin embargo, dónde se gesta realmente la industria 4.0 es en las empresas; por lo anterior la segunda parte de la metodología el presente estudio pretende indagar a las empresas para saber que es lo que están haciendo y que tan alineadas están sus acciones y planes con los que industria 4.0 propone.

3.2 Metodología de propuesta de instrumento de diagnóstico para evaluación de empresas en industria 4.0.

Para dar cumplimiento al segundo objetivo se establece una metodología para describir las variables explicativas del proceso productivo en las empresas. Para ello, se han analizado estudios de diagnóstico transversales para la transformación digital que existen en

la actualidad y han sido introducidos en el capítulo anterior (Tabla 6). Para luego a partir de esta información generar un instrumento que se adapte a las necesidades del estudio.

Para la construcción del instrumento de medición se formulan una serie de proposiciones acerca de cómo es una empresa que trabaja bajo las premisas de la industria 4.0, agrupándolas en procesos/ actividades empresariales que se repiten en la literatura, todas transversalizadas por las tecnologías habilitadoras.

3.2.1 Revisión de iniciativas de diagnóstico transversales en industria 4.0

En este apartado se definen con mayor profundidad cada uno de los instrumentos de diagnóstico transversal expuestos en el capítulo anterior.

- **Impuls. Industry 4.0 Readiness Online Self-Check for Businesses:** Realizado por la Fundación IMPULS de la Federación de Ingeniería alemana (VDMA) y dirigido por IW Consult y el Instituto de Gestión Industrial (FIR) en la RWTH Aachen University. Esta herramienta online de autodiagnóstico calcula una puntuación del estado de la empresa que permite conocer en qué aspectos se está ya preparado y en cuales aún hay campo de mejora. Su modelo de “preparación” para la industria 4.0 se basa en 6 dimensiones que son: Estrategia y organización, Fábrica inteligente, Operaciones inteligentes, Productos inteligentes, Servicios basados en datos y Empleados. En cada una de las dimensiones se evalúa varios ítems para luego ubicar a la empresa en un nivel de acuerdo a la escala propuesta como se muestra a continuación en la figura 13.

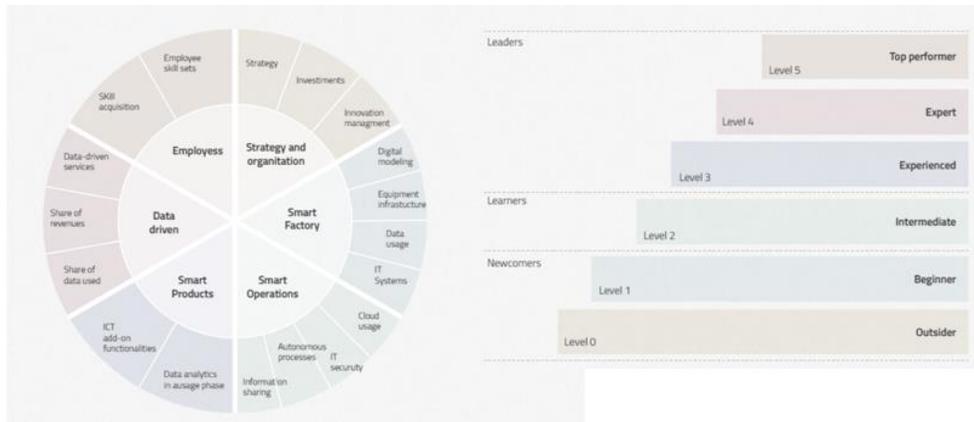


Figura 13 Impuls. Industry 4.0 Readiness model (Fuente: página web industrie40-readiness.de)

- **Industry 4.0 Self-Assessment:** Instrumento elaborado por la consultora PwC en 2016. Esta herramienta se ha diseñado para evaluar la posición de las empresas en lo que refiere al nuevo paradigma de la industria 4.0. Para ello, mide la posición actual de la compañía frente al nivel de madurez deseado a lo largo de seis dimensiones. En definitiva, permite identificar necesidades, así como clasificar el nivel de madurez actual de la empresa. Para realizar la herramienta, se creó un modelo de madurez con 6 dimensiones funcionales más relevantes que son:

- **Modelos de negocio, portfolio de productos y servicios:** En esta dimensión se evalúa cómo se combinan los productos físicos y los servicios en el portfolio de la compañía, qué características digitales o servicios se ofrecen y hasta qué punto está la ingeniería digitalizada.

- **Acceso al mercado y al cliente:** Qué canales se usan para interactuar con el cliente, qué datos se están midiendo actualmente para estudiar a los clientes, cómo monitorizan las interacciones con el cliente.

- Cadenas de valor y procesos: A qué nivel están integradas la ingeniería y la fabricación internamente, cómo se gestiona la cadena de suministro, cómo se planifican las capacidades productivas: Cuál es la arquitectura TI, cómo son los procesos soportados por las tecnologías digitales, cuáles son las capacidades técnicas, cómo la infraestructura TI soporta los servicios digitales.

- Cumplimiento, legalidad, riesgos, seguridad e impuestos: Cómo se evalúan e implementan técnicamente los aspectos de cumplimiento, Cómo se identifican los riesgos legales, se implementan las oportunidades de financiación, cómo se asegura

- la seguridad cibernética.

- Organización y cultura: Qué capacidad de cambio tiene la organización, qué capacidades de industria 4.0 / operaciones digitales están disponibles en la compañía: madurez en la que una compañía puede estar dónde se establecen 4 estados que son: Novato digital, integrador vertical, Colaborador horizontal y campeón digital.

- Boston Consulting Group. Time to Accelerate in the Race Toward Industry 4.0: Es el informe publicado por el Boston Consulting Group (BCG) titulado “Time to Accelerate in the Race Toward Industry 4.0 ” en el que se lleva a cabo una comparativa entre los países de Alemania y Estados Unidos en relación con su nivel de preparación para la nueva era industrial. El informe, que toma como base la información recogida en más de 600 encuestas a grandes compañías alemanas y estadounidenses, parte con el objetivo de evaluar el grado de adopción de la Industria 4.0 en estos países e identificar los principales retos y desafíos que supone su implementación. Uno de los retos principales identificados en el estudio es la búsqueda de talento y la falta de competencias digitales de sus empleados. El concepto de Industria 4.0 tiene un impacto significativo en la mano de obra ya que se requieren de nuevas capacidades que son distintas de las de los empleados actuales. En este

sentido, la transición hacia el nuevo modelo industrial demanda principalmente una fuerza de trabajo con competencias en materia de gestión de datos, seguridad de datos, desarrollo de software, programación, ciencia de datos y analítica.

- **McKinsey Digital:** este instrumento fue desarrollado en 2015 y tras analizar los posibles impactos de la industria 4.0 planteó ocho drivers de aporte de valor que debe de gestionar la empresa en su transformación en industria conectada y son del 30 % a 50% de reducción en tiempos muertos de maquinaria, 45% a 55% de incremento en la productividad de profesiones técnicas, a través de la automatización de trabajo de conocimiento, del 20% al 50% de reducción en costos de inventario, costos de calidad reducidos entre un 10 % y un 20%, aumentar la programación de la demanda en más de un 80% , reducción de 20 a 50% en el tiempo al consumidor, del 10 al 40% de reducción en tiempos de mantenimiento y aumentos en la productividad mayores a 5%.

- **TECNALIA:** La herramienta MDI-4.0 permite la identificación en las empresas de necesidades y retos con impacto potencial alineados con la estrategia industria 4.0. En concreto consiste en captar el estado actual en algunas áreas y su vinculación con las tecnologías (análisis de espacios), compararlas con lo que sería un estado óptimo en su sector dentro del concepto de industria 4.0, e identificar oportunidades de mejora con impacto relevante que puedan ayudarle a posicionarse mejor en el mercado. Para ello se basa en 7 áreas y espacios de análisis en cada una de ellas, cubriendo todas las dimensiones implicadas: clientes, procesos, plantilla, proveedores, sostenibilidad y conectividad. Las áreas conectada, producto Smart y social externa permitirían valorar su eficacia en su relación exterior. Las áreas conectada, inteligente, flexible y automatizada permitirían valorar la eficiencia en sus

procesos internos. Las áreas automatizada y social interna analizarían el atractivo para los trabajadores y el área eco-sostenible la sostenibilidad medioambiental.

- HADA: El Ministerio de Economía, Industria y Competitividad española (MINECO) a través de la Secretaría General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa, han creado la herramienta de autodiagnóstico avanzado HADA , un instrumento de ayuda para las empresas en su camino hacia la Industria Conectada 4.0 con la intención final de impulsar la transformación digital de las empresas que se basa en el análisis de 5 dimensiones clave en la estrategia y operaciones de las empresas que son:

- Estrategia y modelo de negocio: se evalúa la capacidad de adaptación de la organización al entorno y al mercado.

- Procesos: se analizan las capacidades digitales del modelo operativo.

- Organización y personas: se identifican las capacidades de la organización y su modelo de relación con otros agentes.

- Infraestructuras: se identifica la capacidad de transformación que sus infraestructuras ciberfísicas permiten.

- Productos y servicios: se evalúa el nivel de incorporación de tecnología a los productos y servicios existentes, así como su potencial de digitalización.

Al mismo tiempo, para cada una de las dimensiones comentadas, se han identificado los puntos clave que permiten impulsar a las empresas hacia la transformación digital y la Industria 4.0.

- Chile transforma: Herramienta desarrollada por la consultora ceop consulting para la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) para apoyar la definición de una hoja de ruta con iniciativas concretas como apoyo efectivo para desarrollar la Manufactura

Avanzada en Chile, logrando aumentar los ingresos económicos y la cantidad y calidad de empleos.

El instrumento localiza ventanas de oportunidad para Chile haciendo uso de la manufactura avanzada, y las brechas existentes de toda clase que obstaculizan el proceso para finalmente plantear una línea base y una línea meta en términos de PIB, ingresos de la industria manufacturera, estructura de costos, empleos, remuneraciones, y niveles de inversión que apoyen la definición de varios programas adjuntos en formación, crédito, asesorías e innovación para las empresas Chilenas que pertenezcan a la cadena de valor de las industrias tractoras y deseen incluir manufactura avanzada en sus procesos.

3.2.2 Consideraciones generales sobre los instrumentos

Todos los instrumentos estudiados, presentan una serie de etapas generales, con similitudes entre ellos: proponen un enfoque similar al de la metodología PDCA de Deming (1998), comúnmente utilizada en sistemas de gestión, y utilizan algunas herramientas utilizadas en proyectos de planificación estratégica.

Entre las similitudes de destaca que todos los instrumentos proponen una etapa de evaluación de la madurez digital de la organización, análoga con un análisis interno respecto de las capacidades digitales de la empresa. De igual manera se proponen etapas de evaluación y prospección del entorno Industria 4.0, que se correspondería con un análisis externo focalizado en como la digitalización de la industria puede cambiar la forma de hacer negocios en la empresa. Una vez ejecutadas las dos primeras etapas, se proponen actividades de identificación de fortalezas y debilidades, así como amenazas y oportunidades, que pueden materializarse en la clásica matriz DAFO.

Después de la identificación previa, existe un consenso común en una segunda fase de acción para operar pilotos de las transformaciones establecida. Los instrumentos lo hacen de distinta manera: Impuls. Industry 4.0 Readiness Online propone una reunión para la validación y priorización de alternativas mientras Chile transforma ubica a la empresa dentro de un nicho de mercado determinado y compara su problemática. Sin embargo es común implementar una hoja de ruta de la transformación que detalle las tareas concretas a llevar a cabo por la empresa. Para las fases finales de comprobar los resultados y actuar sobre las desviaciones, solo Bechtold et al. (2014) define de forma explícita actividades de mantenimiento del cambio, aunque no entra en detalles acerca de cómo implementar el seguimiento y las acciones correctivas.

Una vez analizados estos instrumentos, es posible afirmar que existe una carencia de metodologías contrastadas de forma empírica para la transformación de una empresa en industria 4.0. Las existentes, definen una serie de fases generales a seguir sin entrar en detalles de tareas y actividades concretas, inputs, outputs e indicadores de control. El proceso de transformación de una empresa hacia el concepto de industria 4.0, se inicia con una evaluación interna de la empresa (análisis de la madurez digital) y externa del entorno de esta, a partir del cual se pueden identificar las debilidades y fortalezas respecto de la industria digital, así como las amenazas y oportunidades que se presentan.

Resulta por tanto necesario contar con un instrumento del concepto de industria 4.0 que permita comparar y evaluar a la empresa y su entorno, como paso previo a la elaboración de la hoja de ruta de la transformación. Para ello, en la siguiente Tabla 8 se profundiza en la revisión de los instrumentos propuestos por diferentes empresas para medir el grado de madurez digital.

Tabla 8 Áreas de evaluación de los instrumento existentes de industria 4.0 Fuente: Elaboración propia en base a instrumentos descritos

Modelo	Dimensiones						
Mckinsey		Utilización de activos	Recursos, procesos y calidad de inventarios	Servicio post-venta	Personal	Time to market: Ajuste de oferta y demanda	
Tecnalia		Conectividad	Proveedores y procesos		Plantilla	Clientes	Producto smart
HADA	Estrategia y mercado de negocio	infraestructuras	Procesos		Organización y personas		Productos y servicios
Chile transforma	Estrategia	Tecnología de conocimiento	Arquitectura de la empresa			Mercado	
Price Waterhouse		Arquitectura TI	Cadena de valor y procesos	Modelos de negocio, portafolio de productos y servicios	Organización y cultura	Acceso al mercado y al cliente	
Impuls	Estrategia y organización	Fábrica inteligente	Operaciones inteligentes	Servicios basados en datos	Empleados		

Luego de valorar los procesos, los instrumentos ubican a la empresa dentro de un escalafón determinado por las características arrojadas en las dimensiones de evaluación previas, en la Tabla 9 se observa cuáles son las escalas utilizadas por los instrumentos estudiados.

Tabla 9 Escalas de evaluación definidas en los diferentes instrumentos analizados.

Modelo	Escalas de evaluación (ascendente para todos los casos)					
Mckinsey	Begginer		Intermediate		Expert	
HADA	Barómetro de transformación digital					
Price Waterhouse	Novato digital	Integrador vertical	Colaborador Horizontal		Campeón digital	
Impuls	Newcomers		Learners	Leaders		
	outsider	Beginner	Intermediate	Experienced	Expert	Top Performer

A partir de los instrumentos analizados que se han detallado anteriormente, se propone modelizar un instrumento de medición considerando las dimensiones y escalas que se consideran más relevantes.

3.2.3 Instrumento de evaluación

El instrumento de evaluación se propone a partir de los 6 instrumentos estudiados y se diagrama en la Figura 14. Este posee 4 áreas de análisis (Estrategia y organización, infraestructura, diversificación productiva y producto y procesos).



Figura 14 Dimensiones de evaluación instrumentos de referencia para empresas. Fuente: Elaboración propia

Además de estas dimensiones relevantes para el análisis del nivel de diversificación productiva y competencias digitales, se han identificado elementos que facilitan la diversificación de cualquier empresa, es decir los “posibilitadores”. Para este trabajo se tendrán en cuenta como “posibilitadores” aquellos elementos que pueden ser dependientes de la propia empresa es decir, que esta como organización tiene capacidad para actuar sobre ellos, adoptándolos en mayor o menor medida.

Para agrupar los “posibilitadores” se tienen en cuenta los que pueden servir como impulsores de la diversificación productiva a través de la transformación tecnológica de la empresa en dos grupos: apropiación tecnológica y de gestión 4.0, dónde recopilan factores relacionados con la competitividad citados en otros estudios (Simoes, Hidalgo, 2011; Sen, 2015, Donoso, Martin, 2017).

En el ítem de apropiación tecnológica se tienen en cuenta el conjunto de tecnologías que permiten la conexión entre el mundo físico y el mundo virtual, las tecnologías de comunicación y tratamiento de datos, las aplicaciones de gestión intraempresa e Inter empresa.

Los factores relacionados con la gestión 4.0 como segundo posibilitador, valoran en la empresa la capacidad para formular y aplicar estrategias coherentes que permitan, de manera duradera, una posición significativa en el mercado. Ambos tipos de posibilitadores y sus competencias pueden observarse en la Tabla 10.

Tabla 10 Posibilitadores de apropiación tecnológica y gestión 4.0 a tener en cuenta en el modelo de referencia. Fuente: Elaboración propia

Tipo de posibilitador	Competencia	Descripción
Apropiación tecnológica	Conexión entre el mundo físico y el virtual	Aquellas tecnologías que permiten la conexión de la fábrica con el consumidor final
	Tecnologías de información y comunicación	Aquellas tecnologías que permiten la comunicación la visibilización de la información
	Aplicaciones de gestión	Tecnologías que permiten extraer y gestionar los datos relevantes en cada uno de los procesos y analizarlos de forma sistemática
Gestión 4.0	Gestión del mercado	Se refieren a las capacidad de hacer gestión de la marca, la adaptación de la oferta a la demanda y la internacionalización.
	Gestión de la Innovación	Se refieren a la capacidad de inversión, diferenciación, y gestión con el ecosistema industrial de valor.
	Gestión del Valor agregado	Se refiere a la capacidad de Personalización y <u>servicio pos-venta</u> y la flexibilidad.

Conceptualmente, el instrumento se puede explicar a través de la Figura 15.

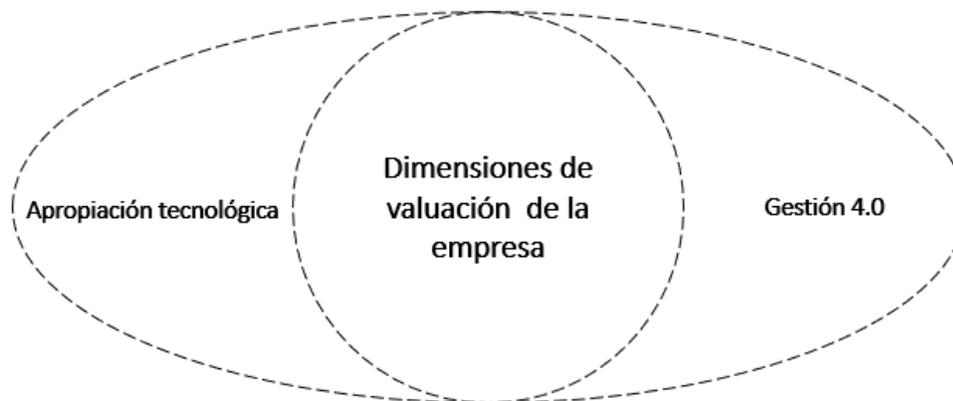


Figura 15 Modelo conceptual para evaluación de empresas. Fuente: elaboración propia

3.2.3.1 Estructura y componentes del instrumento

La utilidad del instrumento es evaluar el nivel de una empresa de un sector determinado, de acuerdo con el concepto de Industria 4.0.

3.2.3.2 Áreas de análisis

En primer lugar, se estructura el análisis de la empresa en cuatro áreas, donde el concepto de industria 4.0 presenta impacto. Cada área de análisis se subdivide en sub áreas, que contienen los procesos clave de la empresa relacionadas con cada área de análisis. El objetivo es trabajar con unidades de análisis elementales, en las que se integran actividades y procesos clave para la transformación digital como se ilustra en la Figura 16 y se describen a continuación.



Figura 16 Áreas y subáreas de análisis para el instrumento propuesto. Fuente: Elaboración propia

- **Estrategia y organización:** Se refiere a la definición de la estructura organizativa existente en la empresa y las estrategias de digitalización en la compañía, entre las subáreas de análisis se encuentran: Estructura organizacional, estrategias de digitalización, vigilancia tecnológica y gestión del conocimiento.
- **Infraestructura:** identificación de capacidad de transformación que sus estructuras ciber físicas permiten, entre sus áreas de análisis se encuentran: Capacidades ciber físicas, capacidad de análisis de información.
- **Procesos:** Identificación del sistema productivo y el nivel de incorporación de tecnología a los procesos. Es en los procesos de fabricación dónde se combina la eficiencia productiva con la flexibilidad y la agilidad (tiempos y series de fabricación cortos)

característicos de la industria 4.0. Se aplican los conceptos de “mass customization”. Dentro de las áreas de análisis se encuentran la gestión de operaciones y la gestión de activos

- **Diversificación productiva:** En paralelo y como respuesta a los cambios en la demanda de los consumidores, la naturaleza de los productos se está modificando. Los productos cada vez son más “inteligentes y conectados. Al mismo tiempo, está evolucionando la manera en la que los consumidores ven y usan estos productos, redefiniendo tanto los factores que determinan el valor del producto en sí, como la manera en que las empresas pueden capturarlo y los modelos de negocio que usan para hacerlo. Esta área de análisis contempla la oferta de productos y servicios. Nuevos productos inteligentes o con nuevas funcionalidades relacionadas con el mundo digital. Nuevos servicios relacionados con la información capturada. En este caso se consideran como subprocesos relevantes la producción personalizada, la generación de valor, la producción extendida es decir hacer de los productos o asociarlos a un servicio y la innovación en modelos de negocio.

3.2.3.3 Posibilitadores

En esta categoría se agrupan el conjunto de elementos que dependen de las características de la propia empresa, y que pueden servir como facilitadores o impulsores de la transformación digital de la empresa.

3.2.3.4 Apropiación tecnológica

Este ítem se refiere al conjunto de tecnologías que permiten la conexión entre el mundo físico y el mundo digital/virtual, las tecnologías de comunicación e información y

las aplicaciones de gestión. El proceso consistió en considerar aquellas presentes en la literatura y sectorizarlas. A continuación, en la Tabla 11 se observa una breve descripción.

Tabla 11 Tecnologías posibilitadoras para apropiación tecnológica. Fuente: Elaboración propia

Clasificación	Tipo de tecnología	Descripción
Conexión entre el mundo físico y el virtual	Sensórica	Utilización de sensores en productos o procesos para convertir magnitudes físicas en datos.
	Sistemas embebidos	Dispositivos que incorporan capacidad de procesamiento, además de capacidad de detección o medición de variables físicas. Ajenos a las maquinas.
	Robótica y automatización	Sistemas de robótica y automatización tipo programables como CNC.
	Fabricación aditiva	Impresión 3D con cualquier finalidad: prototipos, muestras, productos, matrices, moldes, etc.
	Visión artificial	Sistemas de visión utilizada en procesos productivos con diversos fines: calidad, logística etc.
	Realidad aumentada	Uso de sistemas de realidad aumentada con con fines de adiestramiento, fines operativos o comerciales
	Simulación	Algoritmos computaciones con el fin de hacer previsiones y/o simular resultados.

Información y comunicación	Aplicaciones web/ Redes sociales	Incluye la utilización de cualquier tipo de red, con fines empresariales: obtener información de usuarios o clientes, información de productos, etc.
	Ciberseguridad	Integración de este tipo de tecnología en el funcionamiento de la empresa.
	Cloud computing	Utiliza servicios cloud de algún tipo
	Conectividad y movilidad	Dispone de terminales móviles para desarrollar actividades operativas, en cualquier área: diseño, producción, distribución, comercial, etc.
	M2M	Utilización de algún tipo de comunicación, o red, que permita transferencia de datos entre maquinas, o entre productos y maquinas.
	Big Data	Realiza <u>análisis</u> de datos masivos, con objeto de detectar patrones, tendencias, etc.

Aplicaciones de gestión	Soluciones de negocio	Utilización de distintos sistemas de información como ERP, MES, CRM, etc.
	Soluciones de inteligencia	Análisis y correlación de datos, mediante software de bussines intelligence

3.2.3.4.1 Gestión 4.0

El segundo posibilitador considerado en el instrumento, es la existencia en la empresa de factores que beneficien la instauración de industria 4.0 siguiendo modelos existentes, es decir describir la capacidad que tiene la empresa de producir bienes con patrones de calidad específicos, requeridos por mercados determinados utilizando recursos en niveles iguales o inferiores a los que prevalecen en las industrias semejantes en el resto del mundo, durante un cierto periodo de tiempo (Sen, 2015). Los factores que influyen se agrupan en tres áreas: Gestión del mercado, gestión de la innovación y gestión del valor como se muestra a continuación en la Tabla 12.

Tabla 12 posibilitadores de gestión 4.0. Fuente: Elaboración propia

Clasificación	Tipo de posibilitador	Descripción
Mercado	Internacionalización	Se traduce en ventaja competitiva cuando la exportación se realiza de forma continuada y creciente.
	Adaptación de la oferta a la demanda	capacidad para vislumbrar los cambios de moda, tendencia, gustos particulares de una zona o región geográfica, etc. y adaptar la oferta de la empresa de forma continua a medida que van cambiando las necesidades o expectativas de los clientes.
	Segmentación	Segmentar el mercado en regiones geográficas, sus necesidades respecto a los productos de la empresa, capacidad de gasto, volumen de mercado por zonas, etc. Este conocimiento deriva en ventaja competitiva cuando además de disponer de la información, se explota adecuadamente.
	Marca	Relevancia de la marca o imagen de la empresa para los clientes reales o potenciales. Se traduce en ventaja competitiva cuando la decisión de compra se basa fuertemente en la imagen o la marca de la empresa.

Innovación	Inversión	capacidad de financiar y desarrollar productos/servicios que aportan una novedad objetiva respecto a la competencia, de forma continua en el tiempo.
	Diferenciación	capacidad de la empresa para crear una percepción de producto por parte del consumidor que lo diferencie claramente de los de la competencia.
	Relación ecosistema industrial de valor	Promoción de acciones de innovación colaborativa con proveedores, clientes, entidades financieras, universidades, centros de investigación o clúster como agentes del ecosistema industrial de valor
Valor agregado	Personalización	Utilización de distintos sistemas de información como ERP, MES, CRM, etc.
	Servicio posventa	Análisis y correlación de datos, mediante software de bussines intelligence

3.2.3.5 Utilización del instrumento

A continuación, se describe la metodología de utilización del instrumento

3.2.3.5.1 Relacionamiento de áreas de análisis con posibilitadores

El instrumento se utiliza para la evaluación del nivel de relación del paradigma de industria 4.0 en una empresa. El nivel de evaluación se desagrega para cada sub-área de análisis. Para cada una de ellas se evalúa el nivel de utilización de los posibilitadores definidos en las diferentes sub-áreas. En definitiva se trata de un análisis donde se cruza la información de las diferentes áreas de análisis con los posibilitadores de la industria 4.0, así se pueden identificar el tipo si existe una relación y si es poco (+) o muy significativa (+++) como se observa en la Tabla 13.

Para tener una idea del procedimiento, las operaciones guardan estrecha relación con las tecnologías habilitadoras de tipo conexión entre el mundo físico y el virtual.

Tabla 13: Relacionamiento áreas de análisis con posibilitadores

Sub áreas de análisis/ Posibilitadores	Estructura y organización			Infraestructura			Procesos		Productos y diversificación	
	Estructura organizacional	Estrategias de digitalización	Vigilancia tecnológica	Capacidades ciber físicas	Capacidad para análisis de información	Plataformas colaborativas	Gestión Inteligente	Tecnologías 4.0	Producción flexible	Generación de valor
Conexión entre el mundo físico y el virtual	Sensórica						++			
	Sistemas embebidos						++			
	Robótica y automatización						+			
	Fabricación aditiva						++			
	Visión artificial						+			
	Realidad aumentada						+			
	Simulación						++			
Tecnologías de información y comunicación	Aplicaciones web/ Redes sociales	++	+							
	Ciberseguridad				+			+		+
	Cloud computing	++	++			++	++	+++		
	Conectividad y movilidad		+	++	++	+++			+	++
	M2M						+		+	
	Big Data						++			
Aplicaciones de gestión	Soluciones de negocio			++						
	Soluciones de inteligencia		+++							
Gestión del mercado	Internacionalización	++								++
	Adaptación de la oferta a la demanda			++						
	Segmentación									++
	Marca									+++
Gestión de la innovación	Inversión		+			+++				
	Diferenciación	++								
Gestión de valor /englob	Relación ecosistema industrial de valor							++		++
	Personalización					++				
	Servicio posventa									++

3.2.3.5.2 Niveles de evaluación

A la hora de evaluar el grado de desempeño de los elementos posibilitadores en cada área (y subárea) de análisis, se identifican 4 niveles, según el grado de conocimiento, acceso y utilización del elemento posibilitador.

- Nivel I: Implica un nivel de utilización del facilitador entre 0 – 25%. Se trata del nivel más bajo en el que la empresa no aplica, o no conoce el facilitador en cuestión.

- Nivel II: Implica un nivel de utilización del facilitador entre 25 – 50%. Se trata del nivel en el que la empresa conoce el facilitador en cuestión, pero no está familiarizada con su aplicación en la empresa.

- Nivel III: Implica un nivel de utilización del facilitador entre 50 – 75%. Se trata del nivel en el que la empresa ha utilizado e integrado hasta cierto nivel (en algunas pruebas piloto, en algunos procesos, etc.) el elemento facilitador.

- Nivel IV: Implica un nivel de utilización del facilitador entre 75 – 100%. Se trata del nivel más alto, en el que la empresa conoce en profundidad el facilitador en cuestión y lo tiene implantado de forma generalizado en la empresa.

A continuación, en la tabla 14 , 15, 16 y 17 se muestran en detalle, la descripción de los diferentes niveles de evaluación para cada uno de las áreas de análisis y los posibilitadores considerados en el instrumento.

Tabla 14 Descripción de los diferentes niveles de evaluación para el área de análisis de estrategia y organización

Tipo de posibilitador	Descripción	Nivel I	Nivel II	Nivel III	Nivel IV
Redes sociales / Blogs/ página web / app propias	Utilización de cualquier tipo de red, con fines empresariales: obtener información de usuarios o clientes, información de productos, etc.	No conocen la tecnología ni la consideran utilizable.	Conocen la tecnología, cuándo sería útil aplicarla, y que perfil de trabajador debería encargarse	Hay alguna persona que se ocupa de las redes de forma esporádica, principalmente con finalidad comercial o de difusión.	Disponen de personal dedicado a estas tareas. La explotación de la información es útil y obtienen conclusiones demostrables.
Soluciones de negocio	Uso compartido utilizan los datos generados por los sistemas de información entre las diferentes áreas de la empresa	No se comparten	Existe acceso compartido a los datos pero no se usan	Existe acceso compartido y se usan para resolver casos puntuales	Existe acceso compartido y se usan con frecuencia en la toma de decisiones.
Internacionalización	capacidad de vender los productos de la empresa en mercados internacionales.	No se vende en el exterior ni se plantea en el mediano plazo	Se exporta por lo menos una referencia de producto	Las ventas por exportación representan por lo menos el 30% de ventas para la compañía	Las ventas por exportación representan por lo menos el 40% de ventas para la compañía y se encuentran en crecimiento.
Inversión en innovación	Capacidad de financiar y desarrollar productos/servicios que aportan una novedad objetiva respecto a la competencia, de forma continua en el tiempo.	Menos del 2% del presupuesto anual es para innovación.	El presupuesto anual para innovación está entre el 2% y el 5%	El presupuesto anual para innovación está entre el 5% y el 8%	El presupuesto anual para innovación es mayor al 8%
Diferenciación	capacidad de la empresa para crear una percepción de producto por parte del consumidor que lo diferencie claramente de los de la competencia.	No se cuenta en la empresa con estrategia de diferenciación	Se cuenta con estrategia de diferenciación por lo menos en un producto.	Se realizan estudios de mercado y esporádicamente se busca la diferenciación de algún producto	Hay personal en la compañía encargado de las labores de diferenciación de producto y se integran al ecosistema de la cadena de suministro.
Relación ecosistema industrial de valor	Promoción de acciones de innovación colaborativa con proveedores, clientes, entidades financieras, universidades, centros de investigación o clúster como agentes del ecosistema industrial de valor	No existen acciones de innovación colaborativa	Existen acciones con al menos un agente del ecosistema industrial	Existen acciones con más de un agente del ecosistema industrial	Existen acciones con más de un agentes del ecosistema industrial con resultados positivos.

Tabla 15 Descripción de los diferentes niveles de evaluación para el área de análisis de infraestructura

Tipo de tecnología	Descripción	Nivel I	Nivel II	Nivel III	Nivel IV
Información en tiempo real	Los sistemas de información de su organización generan datos en tiempo real a lo largo de la cadena de valor (información proveniente de la maquinaria o de los procesos)	No se generan datos en tiempo real	Se generan datos en tiempo real	Se generan datos en tiempo real y se analizan	Se usan los datos para la toma de decisiones de forma habitual
Soluciones de negocio	Utilización de ERP, MES, CRM, Etc	No existe sistema de información	Disponen de un sistema informático tipo ERP, pero no utilizan el módulo de producción	Dispone como mínimo de un ERP o de sistema de gestión integrado, incluyendo producción.	Dispone al menos de ERP y MES.
Soluciones de negocio	Interconexión e interoperabilidad de las siguientes soluciones de negocio usadas en la empresa.	No existe sistema de información	Existen sistemas de información pero no están conectados	Existe interconexión entre los diferentes sistemas.	Existe interconexión e interoperabilidad entre los diferentes sistemas.
Ciberseguridad	Departamento TIC con personal especializado en estas tecnologías.	No conocen la tecnología ni la consideran utilizable.	Conocen la tecnología, cuando sería útil aplicarla y proveedores a los que subcontratar el desarrollo.	Dispone de algunas personas que se dedican principalmente a programación, o bien tiene subcontratada esta tarea.	Dispone de un departamento TIC exclusivamente dedicado garantizar la seguridad en los sistemas de información
Computación en la nube (cloud Computing)	Servicios cloud de algún tipo	No conocen la tecnología ni la consideran utilizable.	Conocen la tecnología, cuando sería útil aplicarla y proveedores a los que subcontratar el desarrollo.	Utiliza alguna plataforma cloud para procesos no críticos (archivo de documentación, etc)	Utiliza plataformas cloud para procesos críticos (producción)
Conectividad y movilidad	Terminales móviles para desarrollar actividades operativas, en cualquier área: diseño, producción, distribución, comercial, etc.	No conocen la tecnología ni la consideran utilizable.	Utiliza terminales móviles solo en la parte de comercialización	Utiliza terminales móviles en algunos procesos asociados a la planta de producción, logística o comercialización.	Utiliza terminales móviles en los procesos asociados a la planta de producción, logística y comercialización.

M2M	Comunicación, o red, que permite transferencia de datos entre máquinas, o entre productos y máquinas.	No conocen la tecnología ni la consideran utilizable.	Se utiliza información de las máquinas para programar otras.	Utiliza transferencia de datos entre OT y las máquinas CNC para reprogramarlas. Es posible transferir datos entre productos y máquinas, vía cdb, RFID, etc.	Las máquinas están conectadas en red. Es posible transferir datos entre ellas, y entre productos y máquinas (cdb, RFID, ...)
Big Data	Realiza análisis de datos masivos, con objeto de detectar patrones, tendencias, etc.	No conocen la tecnología	Conocen la tecnología, cuando sería útil aplicarla y proveedores a los que subcontratar el desarrollo.	Alguna vez ha utilizado los servicios de empresas tecnológicas para realizar análisis de este tipo.	Utiliza de forma habitual el análisis Big Data, mediante personal propio o empresas externas. Al menos en algún proceso de negocio.
Soluciones de inteligencia	Análisis y correlación de datos, mediante software de BI	No conocen la tecnología	Realiza análisis de datos de mediante Excel.	Realiza análisis de datos de mediante Excel de forma habitual	Dispone de una solución BI, que utiliza de forma habitual en diversos departamentos.

Tabla 16 Descripción de los diferentes niveles de evaluación para el área de análisis de procesos

Tipo de posibilitador	Descripción	Nivel I	Nivel II	Nivel III	Nivel IV
Sensórica en procesos	Utilización de sensores externos en máquinas o procesos no automatizados para convertir magnitudes físicas en datos.	No conocen la tecnología ni utilizan estos elementos.	Se dispone de sensores solo en maquinaria automatizada	En el 30% de los procesos no automatizados se disponen de elementos externos que miden variables físicas y las convierten en datos	En el 70% de los procesos no automatizados se disponen de elementos externos que miden variables físicas y las convierten en datos
Sistemas embebidos en procesos	Dispositivos que incorporan capacidad de procesamiento, además de capacidad de detección o medición de variables físicas. Ajenos a las máquinas.	No conocen la tecnología ni utilizan estos elementos.	Solo se dispone de elementos de medición en procesos con Maquinaria automatizada	En el 30% de los procesos no automatizados se disponen de sistemas embebidos que permiten adoptar decisiones	En el 70% de los procesos no automatizados se disponen de sistemas embebidos que permiten adoptar decisiones
Robótica Y automatización	Robótica, sistemas automatizados programables, tipo CNC y similares	No utilizan Procesos o máquinas automatizadas	Dispone de algún proceso Automatizado (menos del 25%) y /o procesos manuales optimizados (menos del 20%)	Dispone de procesos automatizados (por lo menos el 40%) y /o procesos manuales optimizados (por lo menos el 30%)	El 70% de los procesos susceptibles de automatización, lo están. Los procesos netamente manuales están organizados para optimizar la eficiencia.
Fabricación aditiva	Impresión 3D con cualquier finalidad: prototipos, muestras, productos, matrices, moldes, etc.	No conocen la tecnología ni la consideran utilizable.	Conocen la tecnología, cuando sería útil aplicarla, y proveedores a los que subcontratar en caso necesario	Han utilizado alguna vez la tecnología de forma esporádica, subcontratando alguna pieza, prototipo, etc.	Utilizan la fabricación de forma habitual en algún proceso.
Visión artificial	Visión utilizada en procesos productivos con diversos fines: defectos, posición, etc.	No conocen la tecnología ni la consideran utilizable.	Conocen la tecnología, cuando sería útil aplicarla, y proveedores a los que subcontratar en caso necesario	Utilizan la visión artificial de forma esporádica en algún proceso.	Utilizan la VA de forma habitual en procesos diversos.

Realidad aumentada o realidad virtual	Uso de la RA con fines de adiestramiento, fines operativos o fines comerciales (relación con clientes, marketing, etc)	No conocen la tecnología ni la consideran utilizable.	Conocen la tecnología, cuando sería útil aplicarla, y proveedores a los que subcontratar en caso necesario	Utilizan la realidad aumentada de forma esporádica en algún proceso.	Utilizan la realidad aumentada de forma habitual en algún proceso.
Simulación Y virtualización productiva	Simuladores de algún tipo, incluso caseros tipo excel para hacer previsiones, simular resultados, etc.	No conocen la tecnología ni la consideran utilizable.	Conocen la tecnología, cuando sería útil aplicarla, y proveedores a los que subcontratar el desarrollo en caso necesario	Utilizan la simulación y virtualización de forma esporádica en algún proceso.	Utilizan la Simulación y /o virtualización de forma habitual en algún proceso.

Tabla 17 Descripción de los diferentes niveles de evaluación para el área de análisis de producto y diversificación

Tipo de posibilitador	Descripción	Nivel I	Nivel II	Nivel III	Nivel IV
Sensórica en productos	Utilización de sensores en productos para convertir magnitudes físicas en datos.	No conocen la tecnología ni utilizan estos elementos.	Se conoce la tecnología. Se ha desarrollado algún proyecto o prototipo, pero no algo comercial	Disponen de algún producto final sensorizado.	Se dispone de más de un producto que usa identificación susceptible de comunicar datos (cdb, RFID,)
Personalización	Capacidad para ofertar una amplia variedad de opciones del mismo producto de forma que cada cliente puede configurar el producto a su gusto.	No existe personalización en los productos	Existen ediciones especiales por lo menos de un producto	Existe más de un producto con capacidad de personalización	Existe posibilidad de personalización el menos más de la mitad d ellos productos de la empresa
Servicio pos-venta	Capacidad para mantener una relación con el cliente tras la venta del producto, de forma que se siguen generando oportunidades de negocio mediante la atención a sus necesidades post-venta	No existe servicio pos venta de los productos	Existe un servicio pos venta sólo para garantías	Existe servicio posventa y seguimiento del desempeño y necesidades de los clientes	Se usa la información generada por la retroalimentación de los clientes en el desarrollo de nuevos productos.

Teniendo en cuenta los ítems evaluados en la tabla anterior, en la Figura17 se observan los pesos teóricos que se le han otorgado a cada una de las subáreas de análisis en las áreas de análisis según las descripciones relacionadas en las tablas anteriores.

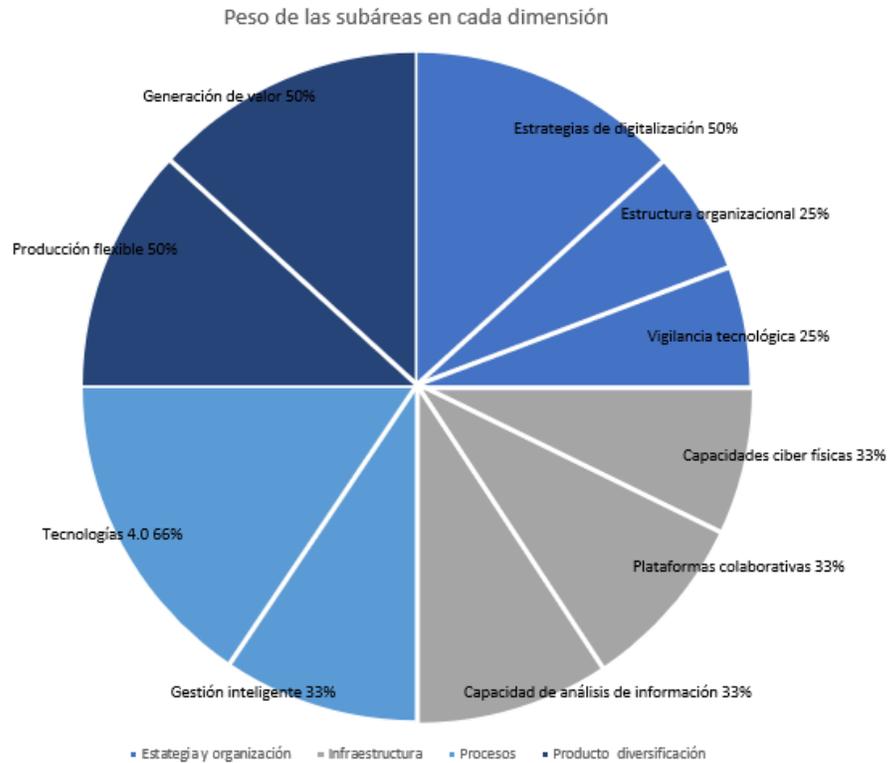


Figura 17 Peso de las subáreas en cada dimensión. Fuente: Elaboración propia

3.2.3.6 Análisis de calidad del instrumento

Para poder evaluar con el instrumento se procede a reescribir en forma de pregunta cada ítem de área de análisis por separado y a colocar los niveles de posible respuesta con su descripción, en la Figura 18 se presenta la forma de transcripción. Así, se formula como pregunta la proposición definida por el posibilitador y se colocan los niveles como opciones de respuesta excluyentes para que el encuestado señale la que más identifica a la compañía.



Figura 18 Diagrama de forma de transcripción de las proposiciones a preguntas para aplicación de cuestionario

En total son 25 preguntas de respuesta excluyente divididas en las 4 áreas de análisis nombradas anteriormente.

3.2.3.6.1 Análisis de validez del instrumento

Para determinar la validez del instrumento se optó por evaluar la validez de contenido (Hurtado, 1998) con el fin de determinar el grado de comprensión de las preguntas de las que consta el cuestionario.

A diferencia de otros tipos de validez, la de contenido no suele ser expresada cuantitativamente a través de un coeficiente sino que, por lo general, se estima de manera subjetiva o intersubjetiva. Para determinar la validez en este caso, se optó por un juicio de expertos, mediante el que se realiza una valoración por personas calificadas en el tema, el cual estuvo formado por 5 expertos en el tema de industria y/o transformación digital de los cuales 3 son profesores de la Universidad EAFIT y dos pertenecen al sector industrial liderando procesos de transformación.

A todos los participantes se les envió por medio de un correo electrónico un documento en el que se especificaba claramente el objetivo del cuestionario, su contenido con la adaptación semántica y el instructivo para diligenciar la planilla de expertos, que

valoraba cada una de las dimensiones, los ítems asociados y la escala de valoración de los mismos, el documento se puede observar en el anexo 4.

De acuerdo con lo sugerido por Polit y Hungler (2000), la evaluación de la planilla de expertos se hizo a partir del índice de validez de contenido o IVC a través de los criterios de pertinencia y relevancia, la cual se realizó con una escala de cuatro puntos de 1 a 4 donde 1= no pertinente y no relevante, y 4=muy pertinente y muy relevante.

Para el cálculo de IVC se consideró la puntuación que dieron los expertos entre 3 y 4. Un IVC de 0.80 o más suele considerarse como indicativo de una validez de contenido elevada.

En el caso del cuestionario, el IVC fue de 0.86 % y todos los jueces coincidieron en mantener las 4 dimensiones y los 28 ítems originales, así como la escala de evaluación propuesta, por lo que no se considera necesario calcular el índice de validez del contenido.

3.2.3.6.2 Análisis de confiabilidad

Para determinar el análisis de la confiabilidad del cuestionario se optó por evaluar la consistencia interna del mismo que plantea dotar de significación a las preguntas del cuestionario. Para ello se calcula coeficiente alfa de Cronbach, (α) definido en la ecuación 12 que está basado en la correlación de los elementos promedio y asume que los ítems se relacionan con un mismo constructo y que están altamente correlacionados (Cronbach, 1988).

$$(12) \quad \alpha = \frac{K}{K - 1} \left(\frac{\sum_{i=1}^K \sigma_{Y_i}^2}{\sigma_X^2} \right)$$

Dónde

K = Número de ítems en la escala.

$\sigma^2 Y_i$ = Varianza del ítem i .

$\sigma^2 X$ = Varianza de las puntuaciones de cada pregunta

Los valores de este coeficiente oscilan entre 0 y 1, considerando como criterio general un coeficiente aceptable cuando su valor es igual o superior a 0.70 (Cronbach, 1988). El índice de fiabilidad del cuestionario completo que se obtiene mediante el cálculo del estadístico alpha de Cronbach es de 0.751 que se considera aceptable.

3.2.4 Evaluación conceptual del instrumento

Como resultado de la aplicación, se obtienen valoraciones particulares (por ejemplo, de una sub área de análisis respecto de una tecnología concreta), y agregando resultados se obtienen valoraciones generales a nivel de áreas de análisis, elementos posibilitadores, y una valoración global de la empresa, tal y como se refleja en la Figura 19.

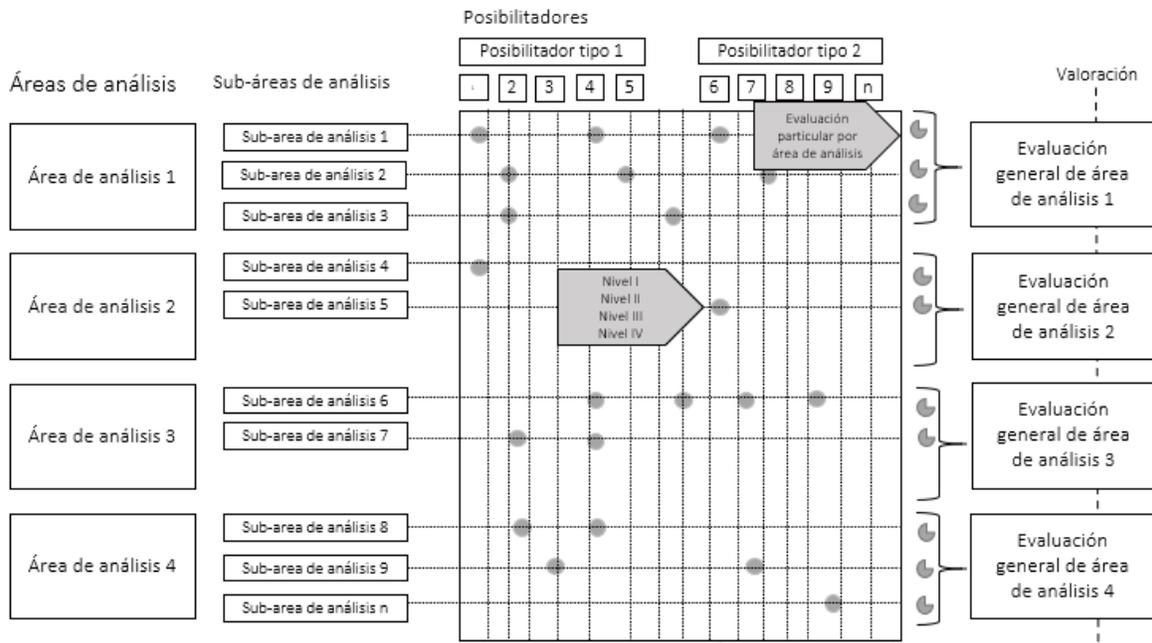


Figura 19 Instrumento de evaluación general. Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Metodología de aplicación del instrumento

Ya que existe un instrumento validado propuesto se define la siguiente metodología para aplicarlo.

3.2.5.1 Definición de la población objeto de aplicación del instrumento

Para la aplicación del instrumento, el primer paso es elegir la población a evaluar. En este caso se tomó en cuenta la población de las empresas grandes dedicadas a actividades relacionadas con la manufactura, detalladas en el listado de actividades económicas (códigos CIU) especificados en el Anexo 2 y que operan en la ciudad de Medellín y su área metropolitana.

Esta decisión se tomó teniendo en cuenta que es la ciudad foco del estudio, además las empresas grandes de la ciudad son aquellas que se pueden considerar “apalancadoras”

por ser entidades de alto nivel de complejidad, que a su vez generan dinámicas relacionales con empresas medianas y pequeñas del sector manufacturero y otros (CCM, 2017), también porque son las mayores generadoras de empleo y aquellas que tienen el músculo financiero que requieren las actividades de transformación tecnológica asociadas a la industria 4.0.

3.2.5.2 Tamaño de la muestra

En Colombia el segmento empresarial está clasificado en micro, pequeñas, medianas y grandes empresas, esta clasificación está reglamentada en la Ley 590 de 2000 conocida como la Ley Mipymes y sus modificaciones (Ley 905 de 2004) y se divide por ingresos operacionales, dónde las grandes empresas son aquellas que tienen ingresos por más de 59.512 millones de pesos.

En el informe de estructura empresarial de la cámara de comercio de Medellín para Antioquia, según sector económico, tamaño de empresa y Centro Regional (CCM, 2019) en la ciudad se encuentran 91 empresas grandes dedicadas a la manufactura que corresponden a la población de estudio de la investigación.

El diseño muestral para esta investigación corresponde a un muestreo probabilístico de elementos con selección aleatoria (Hurtado, 1998) que se define con la ecuación 13

$$(13) \quad n_i = \frac{(N_i \cdot S_i)^2}{\left(\frac{N_i-1}{N_i}\right) \cdot \left(\frac{e}{z}\right)^2 + (N_i \cdot S_i^2)}$$

Dónde:

n_i = Tamaño de la muestra por dominio

N_i = Tamaño del dominio i

S_i = Cuasivarianza del dominio i

e = Error absoluto máximo admisible

z = Coeficiente que representa el nivel de seguridad o confianza

A partir de la población constituida por 91 empresas, se ha diseñado una muestra de tamaño igual a 24 empresas, con el 10% de error absoluto y un nivel de confianza del 80%.

3.2.5.3 Formato del cuestionario

Luego de ajustar el tamaño de muestra, se procede desarrollar un cuestionario electrónico alojado en una dirección web como formulario de Office accesible por cualquiera y disponible en:

<https://forms.office.com/Pages/ResponsePage.aspx?id=XrX3mb6ce0aBQ5GXgpGK-yyFlTstqgBFgbdy3w0YWjtUQkhCUDIPVUc4VDgyUjIKV0Y4RkpLNDc5Qy4uop>

En el formulario se encuentra el cuestionario que consta de 30 preguntas divididas en 4 áreas de análisis: Organización, infraestructura, producto y procesos. También se incluyen algunas preguntas para determinar el tamaño de empresa y otra para diligenciar con el nombre de la misma. Así, más del 90% de las preguntas pretenden objetivamente determinar el nivel de implantación de industria 4.0 a través de cuestiones especificadas en una escala de 4 niveles, el resto pretenden caracterizar la compañía como se muestra en la Figura 20.

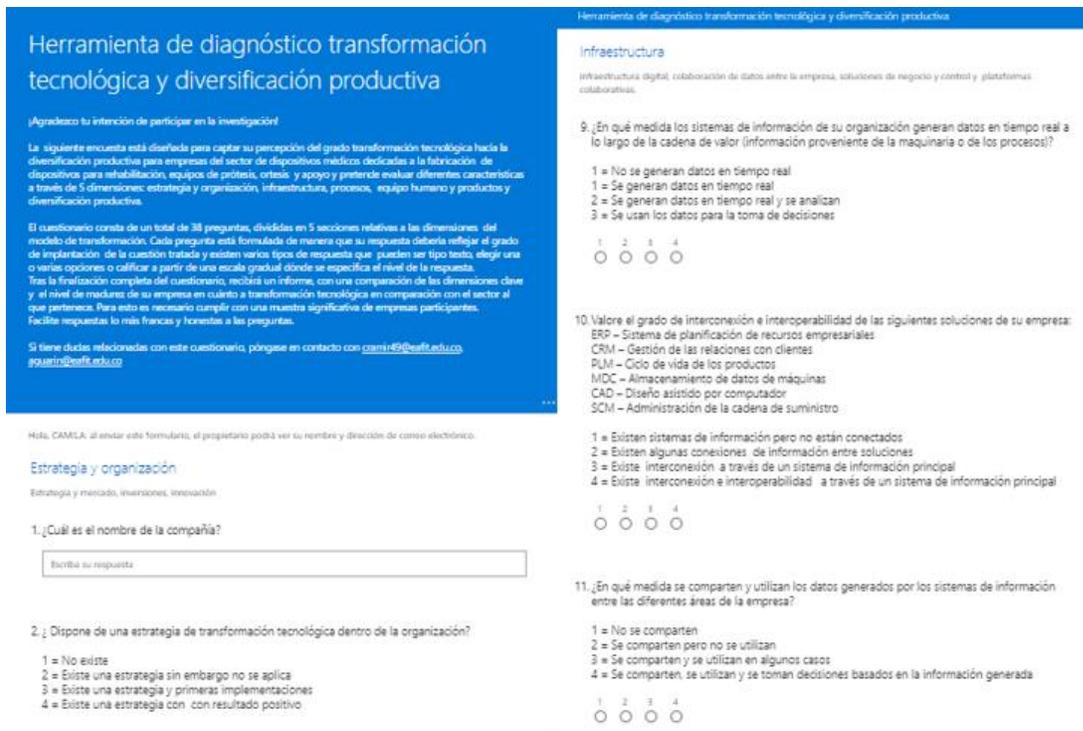


Figura 20 Pantallazo de herramienta web de diagnóstico. Fuente: Elaboración propia

3.2.5.4 Aplicación del instrumento

El instrumento está diseñado para ser confidencial debido a la información sensible que proporciona. Se establece comunicación telefónica previamente con cada uno de los directivos solicitando que la respondan, además se explica brevemente la dinámica de evaluación en el texto previo al cuestionario. Se ofrece atención telefónica para cualquier duda o sugerencia respecto del cuestionario.

4. Resultados de la investigación

Esta sección presentara los resultados obtenidos en este trabajo de tesis de maestría. Primero se describirá en detalle el proceso de reconocimiento de oportunidades de diversificación derivadas de las capacidades existentes es la estructura productiva de Medellín y luego los resultados y análisis obtenidos tras la aplicación del instrumento a la muestra previamente detallada. Los resultados están orientados a responder las preguntas y cumplir objetivos planteados por esta investigación y permite resaltar los hallazgos derivados en las dos fases metodológicas.

4.1 Reconocimiento de oportunidades de diversificación derivadas de las capacidades existentes

A continuación, se presentan los resultados de la primera fase de la propuesta metodológica planteada para responder al objetivo de reconocer oportunidades en el entorno productivo de la ciudad de Medellín a partir de las capacidades existentes y potenciales frente al resto del país en el corto, mediano y largo plazo con base en la teoría de la complejidad económica.

4.1.1 Análisis del Método de reflexiones

El método de reflexiones permite mapear la ubicación de Medellín y su área metropolitana dentro del mapa de ciudades colombianas en cuánto ubicuidad y diversificación (aplicando las ecuaciones 1-5 como se muestra a continuación).

En principio siguiendo la ecuación 1, se genera la matriz de orden 36×1240 , donde las filas (36) están conformadas por las ciudades centros industriales colombianas y las columnas (1240) indican las actividades productivas (α_n) comprendidas por todos los

sectores industriales que exportan reflejadas en el indicador de ventaja comparativa revelada (VCR) para cada ciudad como se observa a continuación

$$\begin{array}{c}
 \alpha_1 \qquad \qquad \alpha_n \\
 \text{Armenia} \\
 \vdots \\
 \text{Medellín}
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 0.25 & \dots & 0.6 \\
 \vdots & \ddots & \vdots \\
 1.28 & \dots & 0
 \end{bmatrix}$$

36 x 1240

Luego, se construye la matriz binaria M_r usando la regla de decisión denotada en la ecuación 2. Dicha matriz muestra las actividades productivas en las que las ciudades tienen especialización.

$$M_{r\alpha} = \begin{bmatrix}
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\
 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & \dots & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0
 \end{bmatrix}$$

Seguindo las ecuaciones 3 y 4 se calcula la diversidad y ubicuidad de la matriz $M_{r\alpha}$; la diversidad resulta de sumar las filas de la matriz, mientras que la ubicuidad es resultado de la sumatoria de las columnas de la misma.

$$\text{Diversidad} = K_{\alpha 0} = \begin{bmatrix} 48 \\ \cdot \\ 75 \end{bmatrix} \quad \text{Ubicuidad} = K_{r0} = [\quad 2 \quad 5 \quad \dots \quad 9]$$

Derivado de lo anterior, es necesario ahora aplicar la ecuación 5 para identificar la ubicuidad promedio de las ciudades de Colombia, siendo ésta normalizada por la diversidad calculada y traspuesta previamente. Tal como se observa a continuación:

$$K_{r,1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} * \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{matrix} \begin{bmatrix} 8 \\ 8 \\ 8 \\ \vdots \\ 5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 578/36 \\ 1254/89 \\ 1245/96 \\ \vdots \\ 3658/46 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16,0 \\ 14,8 \\ 12,9 \\ \vdots \\ 43,6 \end{bmatrix}$$

36×1240 1240×1 36×1 36×1

Después de aplicar la ecuación 5 se genera una lista compilada en la Tabla 18, dónde se observa la distribución de ubicuidad y diversificación para los 17 principales centros industriales de Colombia. Se evidencia que la ciudad de Medellín tiene un grado de diversificación significativo respecto a los centros industriales del país (con 155 sectores de especialidad exportadora de 408 totales a nivel nacional) sólo superado por el área metropolitana de Bogotá y un grado de ubicuidad entre los más bajos (2.96) lo que implica que en la ciudad se producen bienes que no se fabrican en la mayoría de las ciudades.

Tabla 18 Distribución de unicidad y diversificación para las principales ciudades de Colombia. Fuente: elaboración propia

Cuidad	ubicuidad	Diversificacion
Medellin	2,96774194	155
Bogotá	2,54117647	255
Cali	3,15942029	138
Santander de quilichao	4,66666667	9
Rionegro	3,15789474	95
Palmira	3,32258065	31
Pereira	3,33962264	53
Manizales	3,21428571	42
Barranquilla	3,24468085	94
Bucaramanga	3,38297872	47
Popayan	3,92307692	13
Cartagena	3,02173913	46
Duitama	4,33333333	9
Sogamoso	2,47058824	17
Tulua	4,64705882	17
Armenia	4,12	25
Buga	2,81818182	11
Promedios	3,43123688	62,1764706

Paralelamente la Figura 21, muestra la ubicuidad en el eje de ordenadas, frente a la diversificación en el eje de abscisas para el conjunto total de ciudades centros industriales en Colombia. Las líneas de división vertical y horizontal muestran la diversificación y la ubicuidad en promedio del conjunto de centros industriales considerados, lo que nos permite dividir la figura en cuatro cuadrantes distintos. La ciudad de Medellín está ubicada en el cuarto cuadrante como se puede observar.

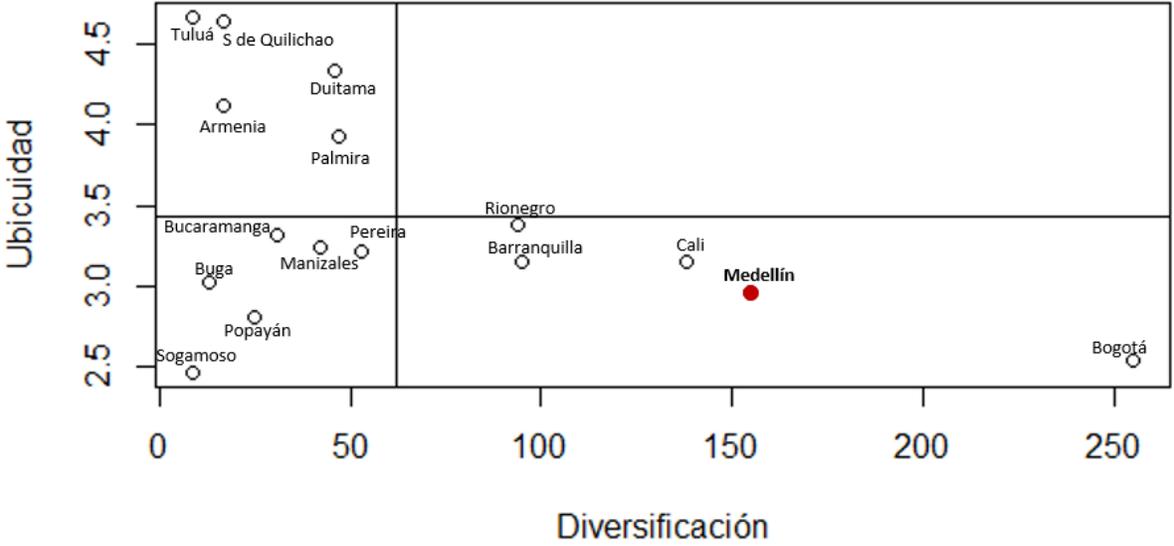


Figura 21 Ubicuidad media de los productos exportados con ventaja comparativa revelada en el eje de ordenadas, frente a la diversificación en el eje de abscisas. Fuente: elaboración propia con base en cálculos de diversificación y ubicuidad (R graphics)

4.1.2 Resultados de las estrategias de diversificación productiva

Siguiendo con la metodología propuesta, se plantea revelar los rankings de oportunidades de diversificación productiva derivados de la ecuación 10, 11 y 12 compiladas en las tablas para los primeros 20 productos de cada estrategia de selección.

4.1.2.1 Estrategia de corto plazo

Para la estrategia de corto plazo, en la tabla 19 se consignan los primeros 20 productos con mayores oportunidades de diversificación en el corto plazo según la metodología, teniendo en cuenta la distribución de los datos, se destacan artículos como los somieres (6.31%). También se priorizan productos relacionados con químicos y plásticos (22.6%) como agentes de limpieza, maquillaje y perfumería, otros pertenecientes a la categoría de vegetales, alimentos y maderas (19%) como productos de panadería, café té, chocolate y en menor proporción los carros como vehículos de transporte (5.50%) y refrigeradores, congeladores, elevadores y cajas de fundición pertenecientes a la categoría de máquinas (3.63%).

Tabla 19 Ranking de oportunidades de y diversificación productiva en el corto plazo Fuente: elaboración propia con base en cálculos de la ecuación 10.

Código	Producto	Categoría	ECP
9404	Somieres	artículos de cama	1,48
8703	Carros	Vehículos de transporte	1,33
4818	Papel higiénico y papeles similares	Vegetales; alimentos y madera	1,21
7108	Manufacturas de oro	Piedra y vidrio	1,17
3402	Agentes de limpieza orgánicos	químicos y plásticos	1,15
1905	Productos de Panadería	Vegetales; alimentos y madera	1,13
2840	Boratos	peroxoboratos	1,11
6203	Trajes y pantalones para hombres	Textiles y muebles	1,11
6212	Sostenes y artículos similares	Textiles y muebles	1,11
5402	Hilados de filamentos sintéticos	Textiles y muebles	1,09
3921	Las demás placas de plástico	químicos y plásticos	1,09
8418	Refrigeradores; congeladores	Maquinaria	1,07
5902	Napas tramadas para neumáticos	Textiles y muebles	1,07
1806	Chocolates	Vegetales; alimentos y madera	1,06
8480	Cajas de fundición	Maquinaria	1,06
3923	Tapones y demás encierros de plástico	químicos y plásticos	1,05
3304	Preparaciones de maquillaje	químicos y plásticos	1,04

3303	Perfumes y aguas de tocador	químicos y plásticos	1,04
7210	Laminados planos de hierros	Metales	1,04
3907	Poli acetales	químicos y plásticos	1,04
2101	Extractos de café; te o yerba mate	Vegetales; alimentos y madera	1,04

4.1.2.2 Estrategia de mediano plazo

En este caso según la Tabla 20 , la estrategia de mediano plazo indica alternativas que otorgan un peso similar a la sofisticación del producto y a su conectividad con otros productos relacionados. indica de nuevo que los productos pertenecientes a la categoría químicos y plásticos como polímeros acrílicos, celulosa, resinas, colorantes y otros productos plásticos deben considerarse (60%). Las máquinas elevadoras, cajas de fundición y máquinas para la preparación de alimentos y bebidas dentro de la categoría de máquinas (22.47%) los productos de panadería, chocolates y papel higiénico en la categoría de vegetales, alimentos y madera y los carros como vehículos de transporte también (6.32%) representan ítems importantes en la estrategia.

Tabla 20 Ranking de oportunidades de y diversificación productiva en el mediano plazo Fuente: elaboración propia en base a cálculos de la ecuación (10)

Código	Producto	Categoría	EMP
2834	Nitritos	nitratos	1,76
8703	Carros	vehículos de transporte	1,44
2840	Boratos	peroxoboratos	1,44
3211	Secativos preparados	químicos y plásticos	1,32
4818	Papel higiénico y papeles similares	Vegetales; alimentos y madera	1,22
3906	polímeros acrílicos	químicos y plásticos	1,22
8480	Cajas de fundición	Maquinaria	1,19
3912	Celulosa n,c,p,	químicos y plásticos	1,19

8546	Aisladores eléctricos de cualquier materia	electrónicos	1,18
8428	Las demás máquinas de elevación	Maquinaria	1,17
3402	Agentes de limpieza orgánicos	químicos y plásticos	1,16
3304	Preparaciones de maquillaje	químicos y plásticos	1,16
3921	Las demás placas de plástico	químicos y plásticos	1,16
9405	Aparatos de alumbrado	Textiles y muebles	1,15
8418	Refrigeradores; congeladores	Maquinaria	1,14
3206	Las demás materias colorantes	químicos y plásticos	1,13
5402	Hilados de filamentos sintéticos	Textiles y muebles	1,13
3907	Poli acetales	químicos y plásticos	1,13
3909	Resinas amínicas y poliuretanos	químicos y plásticos	1,11
1806	Chocolates	Vegetales; alimentos y madera	1,11
1905	Productos de Panadería	Vegetales; alimentos y madera	1,10
6805	Abrasivos naturales o artificiales en polvo	Piedra y vidrio	1,09

4.1.2.3 Estrategia de largo plazo

En el caso de la estrategia de largo plazo, la Tabla 21 muestra que los productos químicos siguen siendo los más relevantes en menor medida que en las dos estrategias anteriores (30%) se destacan los carros, como vehículos de transporte (7.5%), los hilados sintéticos en la categoría de textiles (10.01%), los electrodomésticos y cajas de fundición en la categoría de maquinaria (19.7%) y aparecen otras categorías como los electrónicos (5%).

Tabla 21 Ranking de oportunidades de y diversificación productiva en el Largo plazo. Fuente: elaboración propia en base a cálculos de la ecuación (10)

Código	Producto	Categoría	ELP
8703	Carros	vehículos de transporte	1,29
5402	Hilados de filamentos sintéticos	Textiles y muebles	1,03
3921	Las demás placas de plástico	químicos y plásticos	1,02
3912	Las demás placas de plástico	químicos y plásticos	1,01
8480	Cajas de fundición	Maquinaria	1,01
3304	Preparaciones de maquillaje	químicos y plásticos	1,01
3906	polímeros acrílicos	químicos y plásticos	1,00
1806	Chocolates	Vegetales; alimentos y madera	1,00
3206	Las demás materias colorantes	químicos y plásticos	1,00

8418	Refrigeradores; congeladores	Maquinaria	1,00
3907	Poli acetales	químicos y plásticos	1,00
8546	Aisladores eléctricos de cualquier materia	electrónicos	0,99
7210	Laminados planos de hierro;	Metales	0,99
8428	Las demás máquinas de elevación	Maquinaria	0,98
9405	Aparatos de alumbrado	Textiles y muebles	0,97
8450	Lavadoras de ropa	Maquinaria	0,94
3909	Resinas amínicas y poliuretanos	químicos y plásticos	0,93
8210	Aparatos manuales de preparación de alimentos	Metales	0,93
7110	Platino	Piedra y vidrio	0,93
3215	Tinta	químicos y plásticos	0,91

Adicional a lo anterior, y mediante el uso de los datos previamente obtenidos de complejidad, ventajas comparativas reveladas obtenidas a partir de la base de datos y la densidad de cada producto es posible obtener la relación de productos en los que Medellín y su área metropolitana pueden diversificarse.

4.1.3 Oportunidades de diversificación productiva

La Figura 22 se muestra, para productos de complejidad alta, el grado de especialización o índice de VCR en el eje de ordenadas, frente a la densidad o distancia de los productos respecto de la estructura productiva existente, representada en el eje de abscisas, para el conjunto de productos exportados por Medellín en el año 2018.

Únicamente se representan aquellos productos con una ventaja comparativa revelada inferior a uno, es decir, aquellos productos que la región exporta con un nivel de especialización bajo o sin ventaja comparativa. Las líneas de división vertical y horizontal representan la densidad media y la ventaja comparativa revelada media de los productos, lo que permite dividir la figura en cuatro cuadrantes distintos. Todos aquellos productos

situados en los cuadrantes segundo (C.II) y cuarto (C.IV) presentan un nivel de densidad por encima de la media, lo que implica un grado alto de cercanía con la estructura productiva existente y, en consecuencia, una mayor posibilidad de diversificación. Asimismo, los productos que se sitúan en el segundo cuadrante tienen un índice de ventaja comparativa revelada por encima de la media, y en muchos casos cercano a la unidad, lo que incrementa notablemente las posibilidades de diversificación. Por su parte, los productos situados en el tercer cuadrante (C.III) presentan un índice de ventaja comparativa y una densidad por debajo de la media, siendo así productos con bajas posibilidades de diversificación.

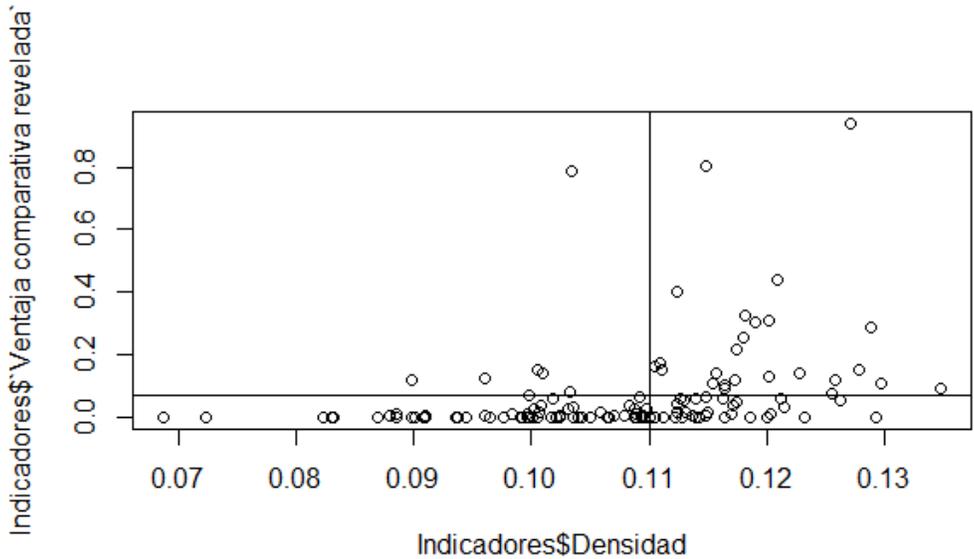


Figura 22 VCR vs densidad: Elaboración propia en base a ecuación 12 (R graphics)

Atendiendo exclusivamente a los productos con una densidad por encima de la media, se observa que predominan los productos pertenecientes a la división de maquinaria y vehículos de transporte. Pues en efecto, el 60.6% de los productos con una densidad por encima de la media pertenecen a la misma. Dentro de este grupo de productos destacan las Partes de automóviles y tractores, aparatos para trabajar caucho o plástico, las Bombas para

líquidos Calandrias y laminadores, las Maquinas para lavar vajillas, las Máquinas y aparatos para encuadernación, los Aparatos auxiliares para máquinas de tejer, los Tornos que trabajen por arranque de metal, las Maquinas herramienta para trabajar piedra, los Aparatos para soldar, las Maquinas con función propia, los Artículos de grifería para tuberías, las máquinas para hacer alimentos y bebidas, máquinas de rayos X, artículos y aparatos de ortopedia, Instrumentos y aparatos de medicina, odontología o veterinaria y los árboles de transmisión. Asimismo, predominan los productos de la división de metales, (16%) de la división de químicos y plásticos (12%) y los electrónicos (8%).

4.2 Resultados instrumento de diagnóstico

Una vez definida la primera versión del instrumento de diagnóstico, se procede a su validación mediante evaluación de 24 empresas grandes de diferentes contextos industriales asociadas a la manufactura. Las empresas evaluadas pueden observarse en el anexo 3.

Dentro de la muestra el 40.8% de las empresas pertenece al sector de procesamiento de alimentos, vegetales y madera, el 16.6% a la industria textil y moda, el 16.6% al sector de químicos y plásticos el 13.5% a maquinaria y equipos, el 8.6% a vehículos de transporte, y el 4.17% al sector de la fabricación de productos metálicos.

El cuestionario fue respondido vía formulario web por directivos o encargados de la producción en cada una de las empresas, de modo que fuera alguien que tuviera un contexto completo de los procesos. Antes de proceder a llenar el cuestionario se les asesoró a través de una llamada telefónica la forma correcta de hacerlo.

4.2.1 Evaluación general por áreas de análisis

En la Figura 23 se recogen las puntuaciones promedio de toda la muestra de empresas para cada área de análisis propuesta. El porcentaje recoge la puntuación promedio de cada dimensión respecto a la puntuación total posible de la misma.

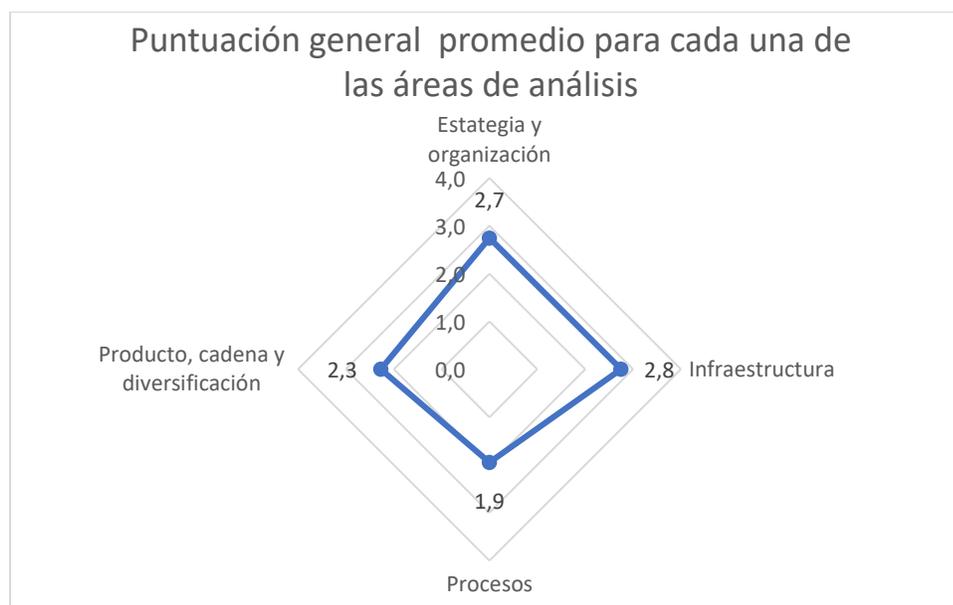


Figura 23 Puntuación general promedio para cada una de las dimensiones. Fuente: elaboración propia (Excel)

La dimensión de infraestructura es la más alta con un promedio de 2.8 de 4, seguida de estrategia y organización con 2.7, luego está producto, y diversificación con un promedio de 2.3 y por último procesos con una puntuación promedio de 1.9.

4.2.2 Evaluación general por subáreas de análisis

Cada una de las áreas de análisis contiene una serie de subáreas de análisis que contribuyen a la adopción del paradigma 4.0, en la Figura 24 se muestra la valoración promedio obtenida para cada subárea de análisis del cuestionario.



Figura 24 Peso de las subáreas de análisis en cada una de las dimensiones (Exel)

En el gráfico anterior se revela que las subáreas de análisis dónde las empresas reflejan más capacidad es en la capacidad de análisis de información y en las plataformas colaborativas mientras que en el área relacionada con tecnologías 4.0 para producción y producción flexible son aquellas que tienen menor valoración por parte de los directivos.

4.2.3 Evaluación por ítems del cuestionario

Paralelamente al gráfico anterior, en la Figura 25 se muestran las valoraciones promedio por ítem evaluado para las empresas encuestadas.

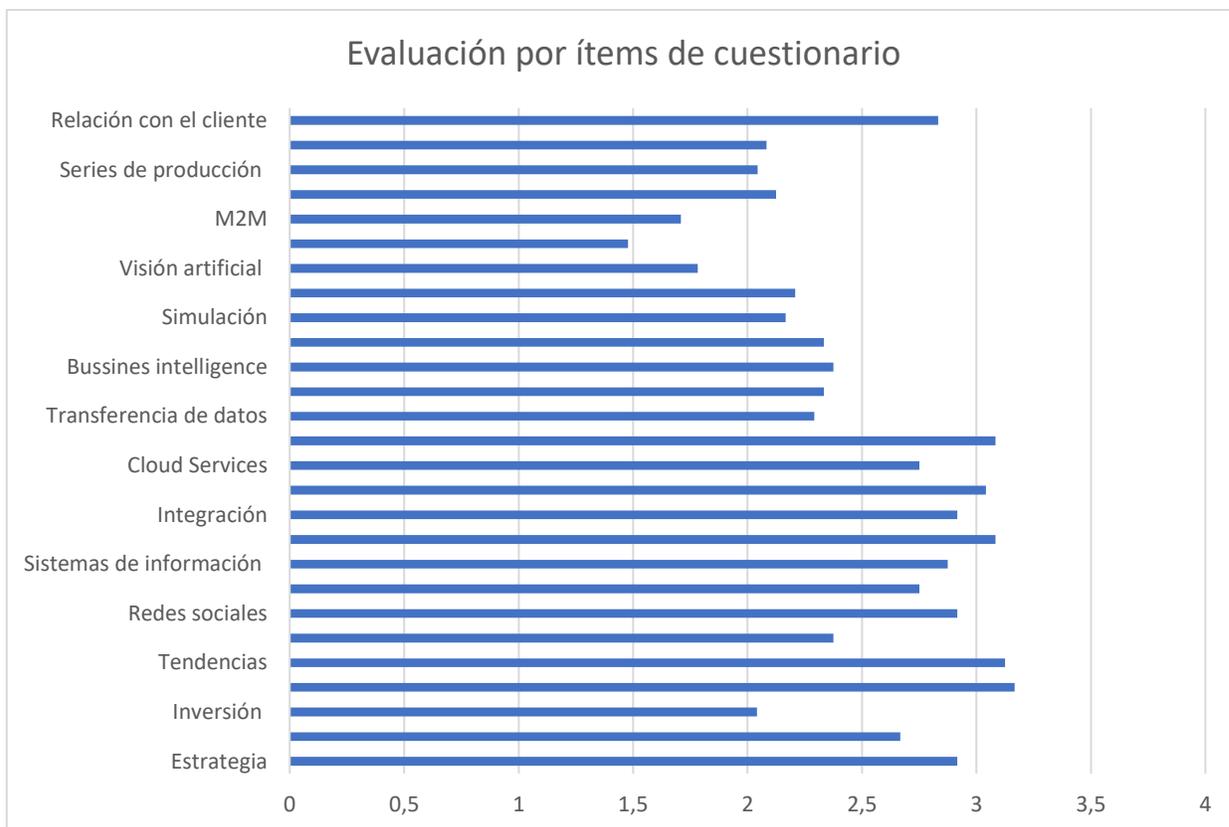


Figura 25 Evaluación por ítems del cuestionario (Exel)

En el gráfico es de destacar que los ítems asociados a las tecnologías 4.0 son los de menor puntuación como es el caso de fabricación aditiva, M2M y visión artificial mientras los relacionados con sistemas de información y plataformas colaborativas están ampliamente adoptados en las empresas encuestadas.

4.2.4 Evaluación por empresas

El valor de adopción del paradigma 4.0 promedio de las 24 empresas encuestadas de la ciudad de Medellín es de un 60.67% respecto al valor teórico máximo posible. La empresa con mayor puntuación está al 94% y la menor al 42.3%. El resto de las empresas están entre el 46.9 % y el 85%. El grado de adopción promedio en las áreas analizadas es el siguiente:

Estrategia		68.61%
Infraestructura		68.75%
Procesos		48.75%
Productos	y	56.77%

diversificación

Y los resultados globales se pueden apreciar en la Figura 26

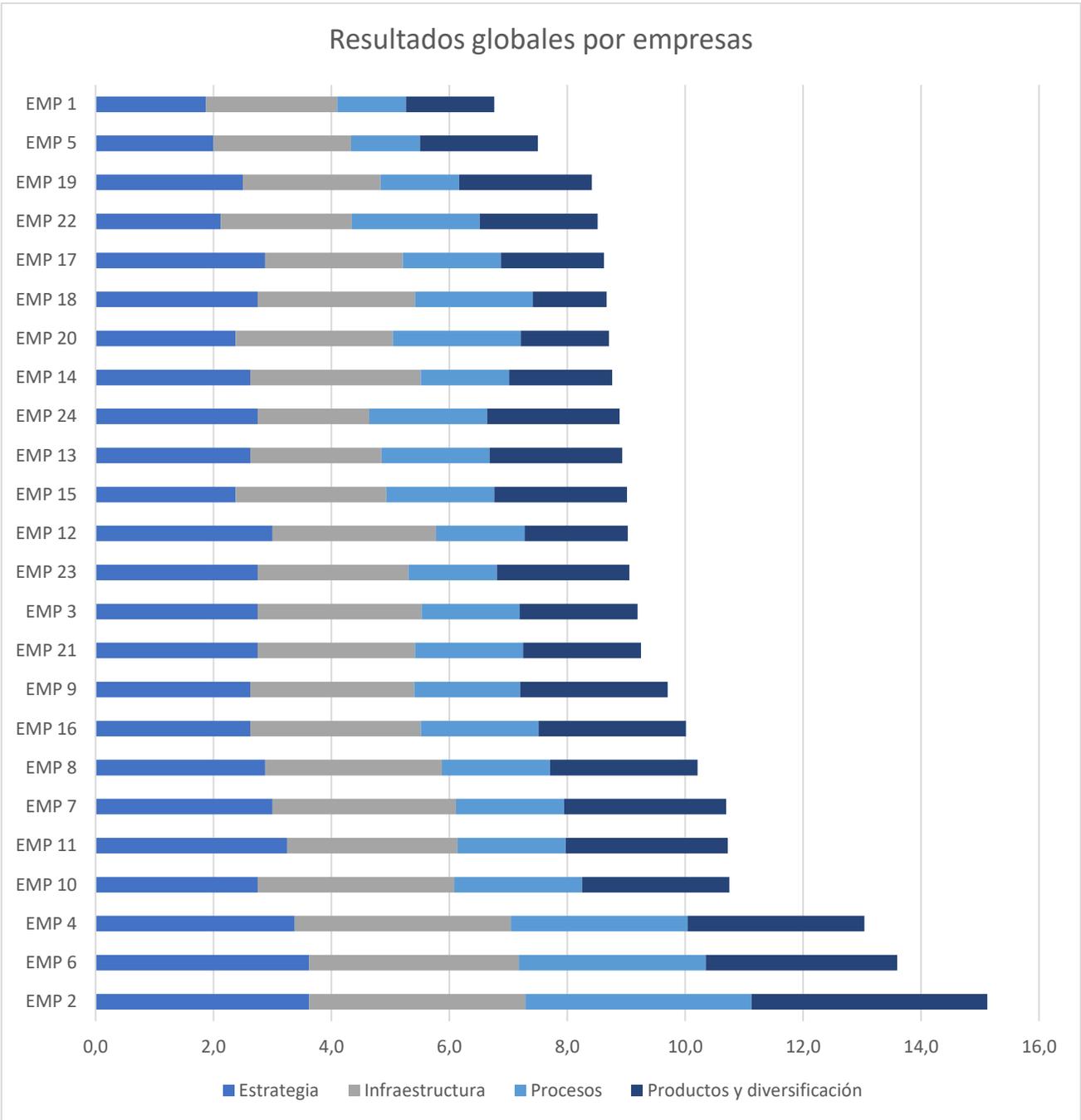


Figura 26 Resultados globales por empresas (EXEL)

5. Discusión de los resultados

Esta sección presenta la discusión sobre los hallazgos para las sub preguntas P3, P4 y la pregunta de investigación.

5.1 Sub pregunta tres

P3: ¿Cuáles son las oportunidades concretas de diversificación productiva de mediana o alta tecnología factibles en el corto, mediano y largo plazo identificadas a partir de las capacidades productivas existentes y potenciales en la ciudad de Medellín?

En esta sección se implementa una metodología para identificar a un grupo de industrias que producen productos que podrían desarrollarse en diferentes horizontes de tiempo con grandes beneficios. Para tal propósito, se optó por adoptar el método cuantitativo, haciendo uso del Método de Reflexiones (MR) y la asignación de ponderadores, con base en las variables de la complejidad económica propuestas por Hidalgo Hausmann (2009) y recopilando los datos procedentes del Atlas de complejidad (2018).

A partir de las operaciones algebraicas, se halla en un primer momento, que la ciudad de Medellín se encuentra claramente ubicada en el cuadrante cuatro que refleja: “mayor diversificación promedio con menor ubicuidad promedio”. Lo anterior indica que la ciudad hace parte del conjunto en el que se encuentran las ciudades con un grado de diversificación por encima de la media, y cuya ubicuidad media se encuentra por debajo del promedio nacional. Es decir, las que exportan un conjunto de productos con ventaja comparativa revelada por encima de la media y en donde la complejidad media de los productos exportados es superior. Sin embargo como se puede observar en el gráfico la ciudad de Bogotá tiene mayor diversificación y menor ubicuidad lo que indica, como lo afirman otros

estudios (González, Solís 2011), que su estructura productiva es capaz de producir mayor diversidad de bienes de capital y producir bienes más exclusivos.

En un segundo momento, para elaborar la lista de industrias que podrían promocionarse en aras de vitalizar la estructura productiva de la ciudad y su capital se emplean cuatro criterios diferentes: proximidad (densidad) con respecto a las capacidades disponibles en el perfil de exportación, complejidad del producto, valor estratégico (o conectividad del producto) y valor de las exportaciones por industria. Este último indicador le da un peso al hecho de que existe una cierta demanda por el producto en cuestión, la cual se refleja en las exportaciones contemporáneas.

Para hacer comparables a todas estas variables se procede a normalizarlas y, posteriormente, se definen las tres estrategias a analizar en función del valor que se le asigna a los ponderadores de las distintas variables. En todas estas estrategias se consideran exclusivamente productos que ofrecen una complejidad superior al promedio de la ciudad, ya que una trayectoria hacia una mayor complejidad ofrece mayores posibilidades de progreso económico. En las tablas 19,20 y 21 se muestran las listas para cada horizonte de tiempo con los 20 productos más relevantes en cada uno de ellos. Entre más veces aparezca un determinado producto en estas listas más factible es que exista un mayor consenso sobre sus virtudes.

En este caso, siete productos aparecen en todas las listas: “Carros”, “cajas de fundición”, “Preparaciones de maquillaje”, “Chocolates”, “Refrigeradores; congeladores”, “Poliacetales” y “Laminados planos de hierro”; de igual forma, seis productos aparecen por lo menos en dos de las listas: “papel higiénico”, “Las demás materias colorantes”, “Aparatos de alumbrado”, “Resinas amínicas y poliuretanos”, “Agentes de limpieza orgánicos” y

“Productos de panadería”. Adicionalmente, en estas listas se observa que en las estrategias de mediano y largo plazo las mismas industrias aparecen los primeros lugares del ranking; y el producto “carros” ubica una de las primeras dos casillas en todas las estrategias.

De esta manera se logra identificar concretamente cuales son los sectores industriales y productos que ofrecen las mejores posibilidades de diversificación productiva para incrementar la complejidad económica y son: (4) maquinaria, (2) Químicos y plásticos, (2) vegetales alimentos y madera, (1)metales y (1) vehículos de transporte.

En estas listas se observa que en la estrategias de corto plazo se destacan los productos textiles y muebles y vegetales, alimentos y madera, en la de mediano plazo toman mucha importancia los químicos y plásticos y aparecen más productos de la división de maquinaria y electrónicos, mientras que en la de largo plazo se consolidan los de maquinaria y desaparecen casi por completo los de vegetales, alimentos y madera.

Teniendo en cuenta los productos que presentan y repiten en las listas, sería útil como próximo paso y siguiendo a Rodrik (2010), tener un diagnóstico para cada producto o familias de productos que permita identificar las limitaciones particulares y los cuellos de botella específicos para cada sector y producto.

La evaluación de posibilidades de diversificación productiva que evidencie oportunidades hacía nuevos bienes con mayor complejidad tecnológica, pero cercanos a la estructura productiva existente revela que la ciudad presenta posibilidades en un grupo de productos relacionados a la línea de autopartes como “Partes de automóviles y tractores”, “bombas hidráulicas para tractores” y “árboles de transmisión”, esta familia de productos toma importancia ya que el producto “carros” es muy relevante en las listas de estrategias

definidas anteriormente y ratifica que el sector es vital en el desarrollo económico de la región y posee amplias oportunidades.

Sucede lo mismo si tomamos el producto “congeladores y refrigeradores”, producto destacado en las listas de las estrategias de mediano y largo plazo, cuya complejidad y estructura productiva se relaciona directamente con otros productos del tipo electrodomésticos como “Maquinas para lavar vajillas” y “máquinas para hacer alimentos y bebidas” “máquinas de rayos X”, y “ aparatos de ortopedia, instrumentos y aparatos de medicina, odontología o veterinaria”, productos cercanos a la estructura productiva y que podrían presentar VCR .

Se debe tener en cuenta que en esta evaluación los sectores más importantes fueron maquinaria (60.6%) , químicos y plásticos (12%) y los electrónicos (8%). Lo anterior indica que la ciudad de Medellín y su área metropolitana cuenta con las capacidades productivas que se requieren para incursionar en industrias relativamente sofisticadas con apuestas estratégicas que le den gran importancia a las oportunidades que abre una industria en el espacio de productos y apalancadas con las herramientas que ofrece la industria 4.0.

5.2 Sub pregunta cuatro

P4: ¿Cómo podría describirse un instrumento de evaluación que pueda utilizarse para medir la situación de las empresas respecto los objetivos propuestos por el paradigma Industria 4.0 y cuáles serían los resultados de su aplicación en empresas grandes de la ciudad de Medellín?

Describir y aplicar un instrumento que mida la implantación de los objetivos propuestos por el paradigma Industria 4.0 en la ciudad de Medellín fue el objetivo determinado por esta pregunta. Para su desarrollo se analizaron metodologías para la

transformación digital de las empresas en general, así como los modelos de referencia que existen en la actualidad y, considerando las características de la ciudad, se planteó una primera versión del instrumento, considerando 4 áreas de análisis y dos posibilitadores.

La valoración global del instrumento permite afirmar que es relevante ya que es aplicable a empresas con diferente actividad, refleja la situación de la empresa y permite detectar carencias y oportunidades relacionadas con la adopción del paradigma.

Entre las consideraciones del instrumento, cabe destacar como sugerencia de los encuestados que tomar el área de producto al mismo nivel que la otras tres áreas de análisis introduce distorsiones en el instrumento ya que hay empresas en las que el producto es definido y desarrollado por los clientes o casas matrices, con lo cual un 25% del cuestionario no es aplicable y distorsiona el resultado global.

Otra consideración frente al instrumento está relacionada con el área de análisis de procesos, específicamente con las tecnologías 4.0 ya que no todas las tecnologías son relevantes en igual medida en todas las industrias, lo que distorsiona los resultados y puede ser corregido con diagnósticos sectoriales que planteen una guía de tecnologías sectoriales e importancia a partir de tendencias mundiales específicas.

En estos análisis sectoriales sería clave reevaluar los “posibilitadores” que se tienen en cuenta como impulsores de la diversificación productiva a través de la transformación tecnológica de la empresa y considerarlos en torno a la competitividad como lo plantean otros estudios (Simoes, Hidalgo, 2011; Sen, 2015, Donoso, Martin, 2017).

Frente a los resultados obtenidos, el nivel de madurez de la muestra analizada es del 60.67% de media. Para el área de análisis de procesos cuyo nivel de adopción fue el menor

(48.75%), se evidencia a través del cuestionario que no existe consenso en el uso de tecnologías.

Para el área de análisis de producto cuyo nivel de adopción según la muestra analizada es el segundo con menor puntaje (56.77%), se evidencia que no se han adaptado en las empresas (con excepción del sector de equipos médicos) los objetivos de personalización de productos y producciones flexibles, en contra de las tendencias actuales de manufactura. Lo anterior indica que las posibilidades de digitalizar o dotar de inteligencia a los productos evidentemente no han sido explotadas y la gran mayoría de empresas no considera entre sus objetivos a corto o medio plazo este aspecto.

En el otro extremo, las dos sub áreas dónde se evidencia una mayor adopción del paradigma son: plataformas colaborativas e integración y estructura organizacional; esto revela complejidad y eficiencia en análisis predictivos de las necesidades del cliente, gestión y manejo de grandes volúmenes de información con sistemas de Big Data, además de procesos colaborativos sistemáticos que permiten consolidar proyectos complejos e integrar la producción con la dirección en gran parte de la muestra de empresas grandes de la ciudad.

Dentro de la muestra, el 40.8% de las empresas pertenece al sector de procesamiento de alimentos, vegetales y madera y el 16.6% a la industria textil y moda; en estas empresas las respuestas fueron consistentes en cuánto a análisis de tendencias (3.63 en promedio), uso de redes sociales (3.15 en promedio) y canales directos de comunicación con los clientes (3.41 en promedio); lo anterior se puede deber a que son productos cuyo ciclo de uso y valor son menores que en el resto de subsectores y de la satisfacción del cliente depende la fidelización con la marca por lo que deben prestar especial atención a las tendencias y mantener una relación cercana con el cliente a través de las redes sociales .

En la porción de la muestra referente al sector de vehículos de transporte (8.6%) y a maquinaria y equipos (13.5%) es común la incorporación de tecnologías como manufactura aditiva (3.97 en promedio) y visión artificial (3.31 en promedio) lo que sugiere mayor exigencia en fabricación y evaluación de la calidad para los productos de esta naturaleza.

Las empresas del sector de aparatos médicos y odontológicos se destacaron por ser las que más apropiación tienen del paradigma a través de las cuatro categorías (3.85 en promedio), mientras que las de productos metálicos y producción textil y moda presentan menores puntajes en todas las categorías (2.61 en promedio) . Lo anterior reitera la importancia de realizar diagnósticos sub sectoriales para cada categoría en empresas de diversos tamaños que desplieguen análisis particulares respecto de las capacidades digitales de la empresa y prospección del entorno Industria 4.0, con un análisis externo focalizado en como la digitalización de la industria puede cambiar la forma de hacer negocios en el subsector.

Es de destacar que los resultados del diagnóstico están alineados a los nichos de los programas gubernamentales dónde se destaca las oportunidades en sectores como el de medicina avanzada y desarrollo de tecnología.

5.3 Pregunta de investigación uno

P1: ¿ Cómo podría Medellín adoptar las oportunidades del paradigma industria 4.0 basado en sus capacidades productivas y como se podría medir la implantación del paradigma en las empresas grandes de la ciudad?

Teniendo en cuenta el alcance descriptivo de la investigación, se pretende hacer una descripción precisa del evento de estudio; en ese caso la implantación del paradigma 4.0 en la ciudad de Medellín y las oportunidades productivas derivadas de él. Este tipo de

investigación se asocia al diagnóstico, dirigida a responder a las preguntas qué, dónde, cuándo, cuántos (Borderleau, 1987).

Por lo anterior el presente trabajo establece más de un evento de estudio. El primero radica en qué es la industria 4.0 y cuáles son las ventajas que tiene; las respuestas a esa pregunta son en su mayoría dadas en términos económicos, es decir beneficios para las empresas, clústeres, ciudades o países que la promueven, por esto es clave estudiar a partir de indicadores económicos que productos podría la ciudad beneficiarse económicamente de la implantación del paradigma como lo han hecho estudios anteriores (Donoso y Martin, 2016; Mendoza et al, 2018).

Teniendo en cuenta que la industria 4.0 facilita la producción y gestión de bienes más complejos, el estudio se basó en este tipo de productos y se encontró que existen ventajas en productos sofisticados a los cuáles les podría apostar la estructura productiva ya que están cercanos a lo que se produce hoy en día.

Las empresas grandes, son las primeras llamadas a diversificar la oferta de productos en la ciudad e implementar industria 4.0, ya que tienen capacidad de inversión en la modernización de sus procesos productivos, amplias redes de negocio, se caracterizan por sus eficientes procesos de gestión y predicción de las necesidades de los clientes, poseen redes de distribución ya establecidas y son apalancadoras de medianas y pequeñas industrias que colaboran como outsourcing en los diferentes procesos empresariales.

Por lo anterior, y coincidiendo con Ors (2015), la implementación de tecnología es vital ya que permitirá una integración sin problemas de la cadena de valor, en el desarrollo

de producto (PLM), planificación de la producción (ERP) y de ejecución de la producción (MES / MOM).

En la tarea de medir el nivel de adopción del paradigma es necesario discutir algunos aspectos de gran importancia respecto a los parámetros estimados, ya que como se consolidó en los resultados, el diseño implementado implica que se pueden evaluar empresas de diferente naturaleza, sin embargo, dadas las diferencias en las empresas no fue posible llegar a consensos confiables (teniendo en cuenta la diversidad de la muestra). Además, como las estimaciones se hicieron sin validar los procesos en las compañías por parte de personal técnico, la subjetividad aumenta en la toma de datos.

De lo anterior es posible destacar que este estudio significa el primero en la ciudad en proponer oportunidades de diversificación productiva que podrían consolidarse adoptando las herramientas que ofrece el paradigma de industria 4.0 partiendo del estudio de capacidades de mediano y alto nivel, además es el primero en indagar áreas de análisis y niveles de adopción como factores comunes en empresas que permitan tener valores representativos del nivel de adopción del paradigma para realizar un seguimiento del mismo en la ciudad de Medellín.

6. Conclusiones

Este trabajo de tesis de maestría planteó como objetivo principal describir y validar un marco de referencia apoyado en la teoría que oriente la implantación del paradigma de Industria 4.0 en la ciudad de Medellín mediante la identificación de subsectores con alto potencial productivo según capacidades de la región y el diseño y validación de un instrumento de diagnóstico para medir el nivel de implantación del paradigma industria 4.0 en empresas grandes de la ciudad.

Para el cumplimiento de este se desarrollaron dos vías de estudio a lo largo del documento: La primera tiene que ver con percibir oportunidades de diversificación expresadas en productos específicos a los que podría apuntar la estructura industrial y que se definen a través de diferentes criterios basados en indicadores económicos derivados de la teoría de la complejidad económica. La segunda está vinculada con la medición de áreas de análisis relacionadas a la implantación del paradigma de industria 4.0 determinadas a través de la relación entre dimensiones empresariales y posibilitadores como elementos de tecnología y gestión que promueven la implantación del paradigma. Es decir, la transformación alineada a los objetivos 4.0 y su nivel de apropiación por parte de las empresas grandes manufactureras de la ciudad de Medellín.

Un marco de referencia permite precisar un punto inicial en el proceso de transformación hacia el paradigma de industria 4.0 y requiere de exponer acuerdos válidos en las dos vías de estudio planteadas: una evaluación externa del entorno a partir del análisis cuantitativo e interna de la empresa con el instrumento. A continuación, se enuncian las conclusiones derivadas de los hallazgos en las dos vías de estudio y se presentan algunas recomendaciones.

Los principales hallazgos derivados de la identificación de oportunidades de diversificación radican en que la ciudad presenta una estructura productiva con amplia variedad de productos y posee capacidades exclusivas para producir bienes de media y alta complejidad que todavía no se producen pero que requieren una estructura productiva similar a la que existe. Para profundizar lo anterior se tomarán dos ejemplos relevantes a partir de los hallazgos.

El primer ejemplo se refiere al sector automotriz en el que se visibilizan grandes oportunidades; el producto “carros” es de gran importancia en todas las listas de oportunidades de diversificación lo que indica que se deben fortalecer las cadenas productivas relacionadas a su fabricación, además “partes de automóviles y tractores”, “bombas hidráulicas para tractores” y “árboles de transmisión” son productos que aún no se producen con VCR pero la estructura productiva actual posee las capacidades para apalancar su desarrollo.

Lo anterior, abre un abanico de oportunidades en la fabricación de autopartes para atender necesidades de producción y repuestos, que orienta la transformación hacia fortalecer la gama de productos y servicios de mediana y alta complejidad que apunten a las tendencias mundiales del negocio como: fabricación de vehículos movidos totalmente con energías alternativas y partes para dichos vehículos, carros y motos con incorporación de funciones de asistencia inteligente, autos y motos con nuevas funciones de seguridad basadas en alarmas y asistencia inteligente y fabricación de autopartes bajo procesos integrados en toda la cadena, dando lugar a ofrecer servicios de fabricación flexibles y de alta capacidad de respuesta.

Para esta transformación se requiere adelantar iniciativas de sinergias con la academia, transferencia de tecnología y otras actividades de investigación y desarrollo complementarias tales como: gestión de propiedad intelectual, vigilancia tecnológica, gestión de alianzas de innovación abierta, etc.

El segundo ejemplo se refiere a los electrodomésticos y sus líneas de producto, considerando que el producto “congeladores y refrigeradores” es relevante en todas las listas de diversificación y productos pertenecientes a estas mismas líneas como “máquinas para lavar vajillas” y “máquinas para hacer alimentos y bebidas” se destacan porque la ciudad aun no los produce, pero posee las capacidades para hacerlos.

En este sector sería importante apalancar la industria a través de la tecnología, (internet de las cosas, manufactura aditiva, materiales avanzados, realidad virtual y nanotecnología) elevar la calidad de los productos y generar proyectos en la vía de fortalecer las empresas y generar productos de alto valor agregado conformes con las tendencias mundiales dadas por la eficiencia energética, electrodomésticos inteligentes y autónomos e incursionar en modelos de negocio como la domótica.

También se destaca la oportunidad de diversificar las líneas de producto hacia productos y aparatos relacionados con el cuidado y control de la salud en casa, lo anterior derivado de las amplias oportunidades en el sector de dispositivos médicos donde productos como “máquinas de rayos X”, “aparatos de ortopedia” e “instrumentos y aparatos de medicina, odontología o veterinaria” son productos cercanos a la estructura industrial y que podrían presentar VCR.

Por otra parte, este tipo de productos pertenecen a un nicho importante de negocio en la ciudad, ya que Medellín sobresale a nivel mundial por la prestación de servicios médicos y el sector que se dedica a su fabricación experimenta un crecimiento constante, sostenido y las empresas del subsector se destacan por su altísima apropiación tecnológica lo que sugeriría sinergias importantes.

Lo anterior permite comprobar que las capacidades previas son significativamente importantes para aumentar la probabilidad de diversificación industrial hacia nuevos productos apalancados en las herramientas que industria 4.0 ofrece y pueden representar importantes oportunidades de desarrollo empresarial e integración a los mercados internacionales.

En relación con la otra vía de estudio, se destaca que a través del instrumento de medición desarrollado es posible percibir un enfoque global de empresa que evidencie la implantación del paradigma en diversas áreas de análisis relacionadas con industria 4.0.

La aplicación del instrumento a 24 empresas grandes manufactureras de la ciudad definió conjuntos de características comunes y estableció niveles mínimos y máximos de implantación del paradigma en diferentes áreas de la compañía.

A partir de los resultados, se determinó que todas de las empresas tienen una estrategia de implantación de industria 4.0 o transformación tecnológica, sin embargo es posible afirmar dado el puntaje para este ítem (3.0 en promedio), que este proceso en muchas de ellas se encuentra apenas en primeras implementaciones y en muchos casos, se está trabajando en implantaciones bajo enfoques específicos y aislados, esto quiere decir, que

se trabajan en diferentes proyectos relativos a industria 4.0 de forma independiente y no de forma coordinada, bajo un modelo claro de implantación.

Este fenómeno tiene numerosos efectos, entre ellos, el hecho de que no se aprovechan las sinergias existentes entre diferentes tecnologías y no hay una priorización de la inversión justificada en el retorno.

Como complemento de lo anterior, se puede afirmar, que en las empresas de la muestra no se ha alcanzado un nivel de madurez y estandarización en los procesos suficiente como para aplicar con éxito todo el potencial de la tecnología. En muchos casos, por el hecho de no tener claro el punto de partida, se cometen errores importantes, realizando inversiones en áreas con poca capacidad de impacto al corto plazo o no prioritarias; esto es evidente en el área de análisis de procesos en ítems como el de la automatización (1.44 en promedio), sensorificación (2.01 en promedio) e integración (1.98 en promedio), que dan cuenta que la fabricación todavía no ha sido optimizada a nivel de proceso productivo y existen ineficiencias en los procesos y flujos internos de la compañía que incluyen cadenas calidad del producto, calidad de la materia prima, fiabilidad del suministro de materiales o fiabilidad de los procesos de mantenimiento.

En las empresas encuestadas, los procesos que determinan la seguridad de la información no son robustos (1.5 en promedio), lo que genera dificultades de implantación y vulnerabilidades. En la mayor parte de los casos, estos riesgos se deben a errores u omisiones de las personas involucradas en los procesos o a falta de conocimiento de la tecnología y los riesgos en los que se incurren al no apostarle a su implementación.

Como un rasgo positivo, a través del instrumento se revela que la infraestructura IT y OT en las empresas grandes de la ciudad está consolidada (3.60 en promedio), lo que beneficiaría los procesos de complejización de productos hacia productos inteligentes o de mayor valor agregado. Sin embargo, existe un atraso evidente en las dinámicas de personalización de productos y flexibilización de la producción (1.25 en promedio) que hace que la mayoría de empresas no estén enfocadas en producir en series cortas y con alto nivel de personalización a través de herramientas tecnológicas.

A partir de esto, se puede concluir que existen algunas áreas de análisis en las que los esfuerzos realizados tendrán un mayor impacto y que estas varían notablemente dependiendo del tipo de producto que realice la empresa. Por esto, es necesario que las empresas realicen análisis de las principales cadenas de valor en la organización, valoren y ponderen el nivel actual de los procesos de cara a una implantación de las diferentes tecnologías de industria 4.0 e identifiquen cuáles tiene más sentido aplicar en cada caso y qué se debe hacer previamente a su implantación, teniendo en cuenta que la tecnología y herramientas 4.0 no son un objetivo en sí mismas, sino que deben ser el medio para mejorar de forma disruptiva los procesos, integrándolas de forma natural como mejora continua en la empresa.

Para cerrar, es importante recomendar en base a los resultados que la ciudad de Medellín debe concentrarse en desarrollar sectores con alto valor agregado determinados por los productos con VCR y las capacidades previas, que generen un efecto arrastre en la economía.

Otra recomendación tiene que ver con la importancia de los clústeres para hacer frente al reto del tamaño (ya que la mayoría de empresas no son grandes) y maximizar la

competitividad y los éxitos empresariales aprovechando las oportunidades en las redes y cadenas de valor de los productos.

El reto de la implantación de industria 4.0 debe ser integral y por ello es importante vincular a la academia con sus capacidades de investigación dentro de las dinámicas sectoriales y promover la estrecha relación entre industria-universidad a través de proyectos de transferencia tecnológica, mecanismos de promoción para la creación, desarrollo y consolidación de proyectos colaborativos, generación de patentes y la contribución a la formación y fortalecimiento de capital humano de alto nivel que fomente la vinculación y el desarrollo emprendedor en necesidades específicas.

Es necesario afrontar los retos de forma colaborativa, identificando espacios de colaboración entre empresas que compiten en los mismos sectores y complementando la oferta de forma sinérgica. Además, es indispensable aprovechar la ventana de oportunidad que suponen las tecnologías vinculadas a la Industria 4.0 como la robótica, la analítica, la inteligencia artificial, las tecnologías cognitivas, la nanotecnología y el Internet de las cosas, la fabricación aditiva entre otras.

Medellín tiene condiciones en el corto y mediano plazo para fortalecer la estructura industrial y generar una industria más competitiva a largo plazo. Se reitera la importancia de abarcar los resultados derivados del estudio en trabajos posteriores a través de estudios sectoriales, que evalúen a lo largo de la cadena de valor los productos que presentan oportunidades y las empresas o grupos de empresas particulares.

De igual forma, el talento humano requerido para la industria 4.0 es un possibilitador muy importante, en futuros estudios se sugiere analizar la relación entre las capacidades

humanas requeridas por las industrias y la oferta académica en la ciudad, especialmente enfocada hacia los sectores con amplias oportunidades.

Lo anterior se recomienda con la intención de llegar a consensos sobre aspectos que especifiquen condiciones productivas, corporativas y de talento humano que permitan generar hojas de ruta sectorizadas hacia la industria 4.0.

7. Bibliografía

- Abdon, A. (2010), “Product space: ¿qué nos dice sobre las oportunidades de crecimiento y transformación estructural de África subsahariana?” Fundación Ideas
- Alonso, J. C., & Patiño, C. I. (2007). ¿ Crecer para exportar o exportar para crecer?: el caso del Valle del Cauca. Ensayos Sobre Economía Regional; No. 46.
- Atlas de complejidad. (2018), “Atlas Colombiano de Complejidad Económica”. Disponible en: [http:// complejidad.datos.gob.co/#/downloads](http://complejidad.datos.gob.co/#/downloads), [Recuperado 10 marzo 2019].
- Balassa, B. (1965). Trade liberalisation and “revealed” comparative advantage 1. The manchester school, 33(2), 99-123.
- BID (2015), “Economía Naranja: Innovaciones que no sabías que eran de América Latina y el Caribe”. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Billstein, R., Fings, K., & Kugler, A. (2004). Working for the enemy: Ford, general motors, and forced labor in Germany during the second world war. Berghahn Books.
- Blunck, E., & Werthmann, H. (2017) Industry 4.0—maximizing economic benefits and firm competitiveness for a circular economy. In XVI International Business & Economy Conference (IBEC)-Chile.
- Botero, H., & Lotero, J. (2005). Competitividad de las exportaciones de la industria manufacturera de Antioquia: evidencia empírica y determinantes utilizando un modelo SUR. Revista Ensayos Sobre Política Económica; Vol. 23. No. 49. Diciembre, 2005. Pág.: 48-87.
- Bourell, D. L., Leu, M. C., & Rosen, D. W. (2009). Roadmap for additive manufacturing: identifying the future of freeform processing. The University of Texas at Austin, Austin, TX, 11-15.
- Castañeda, G. (2018), “Reportes Subnacionales de Complejidad Económica”. Disponible en: [https:// www.gob.mx/productividad/documentos/reportes-subnacionales-de-complejidad- económica](https://www.gob.mx/productividad/documentos/reportes-subnacionales-de-complejidad-economica)
- Cavelty, M. D. 2010. Cyber-Security. In J. P. Burgess (Ed.), The Routledge Handbook of New Security Studies: 154-162. London: Routledge.
- Cepal. (2005), “Indicadores sociales en América Latina y el Caribe”. Disponible en: <http://www.cepal.org/es/publicaciones/4735-indicadores-sociales-en-america-latina-y-el-caribe>
- Chica, D. I.(2013). Comprensión del concepto de la derivada en su componente geométrica sobre la base del modelo de Pirie y Kieren (Master's thesis, Universidad de Medellín).

- CITNOVA, (2016), “Ciudades que crean y atraen talento innovador y emprendedor: programas y proyectos”. Disponible en <http://fororedemprendia.blogspot.mx/2015/10/ciudades-del-conocimiento-foro20.html?m=1>
- Cronbach, L. J. (1988). Five perspectives on the validity argument. En H. Wainer y H. Braun (Eds.) *Test validity*, pp. 3-17. Hillsdale, New Jersey: Erlbaum
- Davidsson, P. (2015), “Entrepreneurial opportunities and the entrepreneurship nexus: A reconceptualization”. *Journal of Business Venturing*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbusvent.2015.01.002>.
- Deane, P. M., & Deane, P. M. (1979). *The first industrial revolution*. Cambridge University Press.
- Deibert, R., & Rohozinski, R. 2010. Liberation vs. Control: The Future of Cyberspace. *Journal of Democracy*, 21(4): 43-57.
- Donoso, V., & Barroso, V. M. (2017). Complejidad económica y densidad productiva como fuentes de competitividad. *Estudios de economía aplicada*, 35(1), 85-109.
- EAFIT. (2018) *Caracterización del sector industrial manufacturero en el valle de aburra*. Medellín
- Echavarría, J. J., & Villamizar, M. (2006). El proceso colombiano de desindustrialización. *Borradores de economía*, 361, 1850-1920.
- Esser, K. (1989). Hacia la competitividad industrial en América Latina: el aspecto de cooperación e integración regional. *Integración Latinoamericana*, Buenos Aires, 14(148), 16-41.
- Evans, P. C., & Annunziata, M. (2012). *Industrial internet: Pushing the boundaries*. General Electric Reports, 488-508.
- Felipe, J., Kumar, u., Abdon, A. (2010), “As You Sow So Shall You Reap: From Capabilities to Opportunities”. Working Paper No. 613. Levi Economic Institute.
- Felipe, J., Kumar, U., Abdon, A., Bacate, M. (2012), “Product complexity and economic development”. *Structural Change and Economic Dynamics*, 23(1), 36–68. doi:10.1016/j.strueco.2011
- Ferreira, P., Martinho, R., & Domingos, D. (2010, September). IoT-aware business processes for logistics: limitations of current approaches. In *INForum* (pp. 611-622).
- Flórez, L. B., & Misas, G. (2008). *La Competitividad y el Plan del Salto Social*. Bogota, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Mimeographed document.

- Guarín Grisales, Á., & Franco López, D. (2011). La sustitución de importaciones como medio para un desarrollo sostenible. *Revista Universidad EAFIT*, 44(151), 56-67.
- Freyssenet, M. (Ed.). (2009). *The second automobile revolution: trajectories of the world carmakers in the 21st century*. Springer.
- GEM. (2005), “Reporte Nacional de Chile”. *Global Entrepreneurship Monitor*
- González-Álvarez, N., Solís-Rodríguez, V. (2011), “Descubrimiento de oportunidades empresariales: capital humano, capital social y género”. *INNOVAR. Revista de Ciencias Administrativas y Sociales*, 21 (41), 187-196.
- Kambatla, K., Kollias, G., Kumar, V., & Grama, A. (2014). Trends in big data analytics. *Journal of parallel and distributed computing*, 74(7), 2561-2573.
- Kemp, R. (2016). Fourth industrial revolution. *The Lawyer*, 31(21), 12.
- Hartmann, M., et al (2017), “Linking Economic Complexity, Institutions, and Income World Development, Inequality” 93(2017) pp. 75-93, ISSN 0305-750X, <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.12.020>.
- Hausmann, R., Hidalgo, C. A. (2013), “How will the Netherlands earn its income 20 years from now? A growth ventures analysis for the Netherlands”. The Hague: The Netherlands Scientific Council for Government Policy (WRR). Disponible en: <http://www.wrr.nl/en/publications/publication/article/how-will-the-netherlands-earn-its-income-20-years-from-now/>
- Hausmann, R., Hidalgo, C; et al. (2011), “The Atlas of Economic Complexity: Mapping paths to prosperity”. MIT Harvard University. Disponible en: http://atlas.cid.harvard.edu/media/atlas/pdf/HarvardMIT_AtlasOfEconomicComplexity_Part_I.pdf
- Hausmann, R., Cheston, T., Santos, M.A. (2015), “La complejidad económica de Chiapas: análisis de capacidades y posibilidades de diversificación productiva”. Center for International Development at Harvard University. Disponible en: http://growthlab.cid.harvard.edu/files/growthlab/files/cid_wp_302.pdf
- Hausmann, R., Hidalgo, C., Bustos, S., Coscia, M., Chung, S., Jimenez, J., Yıldırım, M. (2014), “The atlas of economic complexity – Mapping paths to prosperity”. Cambridge, MA: MIT Press. Hidalgo, C. A., Hausmann, R. (2009)
- Hagel, J., Seely Brown, J., Samoylova, T., & Kulasooriya, D. (2014). The hero’s journey through the landscape of the future. *Deloitte Review*, 15.
- Hsieh, H., & Shannon, S. E. (2005). Qualitative health research. *Qualitative Health Research*, 159, 1277-1288.

- Hurtado de Barrera, J. (1998). Metodología de la investigación holística. Fundacite–SYPAL. Caracas.
- Jutglar, A. (1999). La revolución industrial y la aparición del gran capitalismo. El siglo XIX, 65-92.
- Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A., & Wahlster, W. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group. Forschungsunion.
- Kemp, K. C., Perman, J. A., Bourlinos, A. B., Kim, K. S., & Zboril, R. (2016). Noncovalent functionalization of graphene and graphene oxide for energy materials, biosensing, catalytic, and biomedical applications. *Chemical reviews*, 116(9), 5464-5519.
- Kumar, R. (2010). CASE STUDY: Role of remittances in Tongan economy. *Migration Letters*, 7(2), 224.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & information systems engineering*, 6(4), 239-242.
- Lin, J. Y. (2013). Demystifying the Chinese economy. *Australian Economic Review*, 46(3), 259-268.
- López, C., García, J., Couto, S., Taberner, F., & Navarro, M. (2014). L.(2014). Informe sobre tendencias sociales y educativas en América Latina.
- McGreevey, W. K. (1990). Public Availability Approach to Section 404 (b)(1) Alternatives Analysis: A Practical Definition for Practicable Alternatives. *Geo. Wash. L. Rev.*, 59, 379.
- Meléndez, M., & Perry, G. E. (2010). Industrial policies in Colombia.
- MESA, R. P. S.(2011).“Mipymes y TLC con los EE. UU:¿ una apuesta por un mejor futuro?”. *Revista Comunidad Económica*, (7).
- Monga, M. (2009). Managing diversity through human resource management: An international perspective and conceptual framework. *The International Journal of Human Resource Management*, 20(2), 235-251.
- Naselli, I., & Leibas, L. (25 de Noviembre de 2014). De política industrial y otras cuestiones. (Editorial Melipal) Recuperado el 20 de Marzo de 2017, de Informe Industrial:
http://www.informeindustrial.com.ar/verNota.aspx?nota=De%20pol%C3%ADtica%20industrial%20y%20otras%20cuestiones___894

- Ostermann, F. (1996). A epistemologia de Kuhn. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 13(3), 184-196.
- Örs, F., & Taşar, M. (2015). Prevalence of dual left anterior descending artery variations in CT angiography. *Diagnostic and Interventional Radiology*, 21(1), 34.
- Petersen, K., Feldt, R., Mujtaba, S., & Mattsson, M. (2008, June). Systematic mapping studies in software engineering. In *12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE) 12* (pp. 1-10).
- Polit, D. F., Hungler, B. P., Palacios Martínez, R., & Feher de la Torre, G. (2000). *Investigación científica en ciencias de la salud: principios y métodos*.
- Popkova, E. G. (2019). Preconditions of formation and development of industry 4.0 in the conditions of knowledge economy. In *Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century* (pp. 65-72). Springer, Cham.
- Porter, M. (2008). Las cinco fuerzas competitivas que le dan forma a la estrategia. *Harvard Business Review*, 86(1), 58-77.
- Rodríguez, C., Jiménez, M. (2005), “Emprenderismo, acción gubernamental y academia”. *Revisión de la literatura. INNOVAR. Revista de Ciencias Administrativas y Sociales*, 15 (26), 73-89.
- Rodrik, D. (2014). The past, present, and future of economic growth. *Challenge*, 57(3), 5-39.
- Sen, K., & Faisal, W. A. (2015). Public health challenges in the political economy of conflict: the case of Syria. *The International journal of health planning and management*, 30(4), 314-329.
- Sennett, R. (1998). *The corrosion of character: The personal consequences of work in the new capitalism*. WW Norton & Company.
- Shane, S. (2000), “Prior knowledge and the discovery of entrepreneurial opportunities”. *Organization Science*, 11(4), 448-469.
- Schlaepfer, A. (2008). „Innovation, Imitation and Parallel Trade in the Pharmaceutical Industry “. Working Paper, University of Basel.
- Schumpeter, J., Clemence, R. V., Swedberg, R., Mansinho, M. I., & Pinho, E. (1996). *Ensaio: empresários, inovação, ciclos de negócio e evolução do capitalismo*.
- Simoes, A., Hidalgo, C. (2011), “The economic complexity observatory: An analytical tool for understanding the dynamics of economic development”. *Fifth AAAI Conference on Artificial Intelligence Works*.

- Singer, P. W., & Friedman, A. (2013). *Cybersecurity and Cyberwar: What Everyone Needs to Know*. New York: Oxford University Press.
- Slobodan, P. L. (2018). Predikcija indeksa telesne mase (ITM) i fizičke aktivnosti roditelja na fizičku aktivnost učenika na času fizičkog vaspitanja. *Zbornik radova Pedagoškog fakulteta, Užice*, (20), 249-260.
- Tian, J., Su, Z., ... & Chung, T. F. (2011). Control and characterization of individual grains and grain boundaries in graphene grown by chemical vapour deposition. *Nature materials*, 10(6), 443-449.
- Ungerma, O., Dedkova, J., & Gurinova, K. (2018). The impact of marketing innovation on the competitiveness of enterprises in the context of industry 4.0. *Journal of Competitiveness*, 10(2), 132.
- Vaidya, S., Ambad, P., & Bhosle, S. (2018). Industry 4.0—a glimpse. *Procedia Manufacturing*, 20, 233-238.
- Vosniadou, S., Vamvakoussi, X., & Skopeliti, I. (2008). The framework theory approach to the problem of conceptual change. *International handbook of research on conceptual change*, 3-34.
- Westkämper, E. (2008). Manufacture and sustainable manufacturing. In *Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier* (pp. 11-14). Springer, London.
- Wübbecke, J., & Conrad, B. (2015). 'Industrie 4.0': will German technology help China catch up with the west?. *China Monitor*, 23, 1-10.
- Xu, M., David, J. M., & Kim, S. H. (2018). The fourth industrial revolution: opportunities and challenges. *International journal of financial research*, 9(2), 90-95.
- Zahera, M. (2012). La fabricación aditiva, tecnología avanzada para el diseño y el desarrollo de productos.

8. Anexos

Anexo 1: Cuestionario de implantación de herramientas 4.0 para empresas

<p>Instrucciones: La siguiente encuesta está diseñada para captar su percepción del grado de transformación tecnológica con respecto a las herramientas de la Industria 4.0 para las empresas de Medellín.</p> <p>El cuestionario consta de un total de 28 preguntas de única respuesta, divididas en 4 secciones, cada pregunta está formulada de manera que su respuesta debería reflejar el grado de madurez de la cuestión tratada en una escala de 1 a 4 y se acompaña de una breve guía de respuesta para entender el grado de madurez de un modo más objetivo.</p>			
1) ¿ Dispone de una estrategia de transformación tecnológica dentro de la organización?			
No existe	Existe, sin embargo no se aplica	Existe una estrategia y primeras implementaciones	Existe una estrategia con al menos un resultado positivo
2) ¿Se dispone de una estrategia para la valoración financiera y del impacto de sus inversiones en soluciones de alta tecnología?			
No existe	Se contacta con proveedores en casos específicos	Existe una estrategia y al menos una implementación	Existe una estrategia con al menos un resultado positivo
3) ¿En que rango se encuentra el presupuesto anual para inversión en innovación sobre el total de la inversión de la compañía?			
Menos del 2%	Entre el 2% y el 5%	Entre el 5% y el 8%	Mayor al 8%
4) ¿Se dispone de una estrategia que permita analizar competidores?			
No existe	Se hacen análisis de la competencia esporádicamente	Existe una estrategia de análisis de información de la competencia	Existe una estrategia sistemática basada en las ventajas competitivas de la compañía para la toma de decisiones
5) ¿Se dispone de una estrategia que permita analizar las tendencias de mercado?			
No existe	Se realizan estudios de mercado cuándo el proyecto lo requiere	Existe una estrategia de tendencias de mercado y personal propio o contratista dedicado a este proceso	Existe una estrategia consolidada con al menos un resultado positivo
6) ¿ Venden los productos de la empresa en mercados internacionales?			
No se vende en el exterior	Se exporta actualmente por lo menos una referencia de producto	Las ventas por exportación representan por lo menos el 30% de ventas para la compañía	Las ventas por exportación representan por lo menos el 40% de ventas para la compañía
7) ¿Usan las redes sociales, blogs, páginas web o aplicaciones propias con fines empresariales: obtener información de usuarios o clientes, información de productos, etc?			
No conocen la tecnología ni la	Existen ese tipo de plataformas pero no hay seguimiento	Hay alguna persona que se ocupa de las redes de forma	Disponen de personal dedicado a estas tareas. Se da la explotación de la

consideran utilizable.		principalmente con finalidad comercial o de difusión.	información a clientes, es útil y obtienen conclusiones demostrables.
8) ¿En qué medida su empresa está promoviendo acciones de innovación colaborativa con proveedores, clientes, entidades financieras, universidades, centros de investigación y clúster como agentes del ecosistema industrial de valor?			
No existen acciones de innovación colaborativa	Existen acciones con al menos un agente del ecosistema industrial	Existen acciones con más de un agente del ecosistema industrial	Existen acciones con más de tres agentes del ecosistema industrial
9) ¿En qué medida los sistemas de información de su organización generan datos en tiempo real a lo largo de la cadena de valor (información proveniente de la maquinaria o de los procesos)?			
No se generan datos en tiempo real	Se generan datos en tiempo real	Se generan datos en tiempo real y se analizan	Se usan los datos para la toma de decisiones
10) ¿Cómo valoraría la utilización e integración de sistemas de información ERP(planificación de recursos empresariales) , MES(sistemas de ejecución de fabricación) , CRM (gestión de las relaciones con clientes) en la compañía?			
No existe sistema de información	Disponen de un sistema informático tipo ERP, pero no utilizan el módulo de producción	Dispone como mínimo de un ERP o de sistema de gestión integrado, incluyendo producción.	Dispone al menos de ERP y MES integrados.
11) ¿En qué medida se comparten y utilizan los datos generados por los sistemas de información entre las diferentes áreas de la empresa?			
No se comparten	Se comparten pero no se utilizan	Se comparten y se utilizan en algunos casos	Existe interconexión e interoperabilidad entre los diferentes sistemas.
12) ¿En qué medida se encuentran implantadas herramientas de ciberseguridad y protección de datos en su organización?			
No existen herramientas de ciberseguridad	Conocen la tecnología, cuando sería útil aplicarla y proveedores a los que subcontratar el desarrollo	Dispone de algunas personas que se dedican principalmente a programación, o bien tiene subcontratada esta tarea.	Dispone de un departamento TIC con personal especializado en estas tecnologías
13) ¿En qué medida se encuentran implantadas soluciones Cloud o de trabajo en la nube en su organización?			
No utiliza servicios cloud	Utiliza servicios cloud de algún tipo	Utiliza alguna plataforma cloud para procesos no críticos (archivo de documentación,)	Utiliza plataformas cloud para procesos críticos.
4	2	3	1
14) ¿Se usan en la compañía terminales móviles para desarrollar actividades operativas, en cualquier área: diseño, producción, distribución, comercial, etc. ?			
No conocen la tecnología ni la consideran utilizable	Utiliza terminales móviles solo en la comercialización	Utiliza terminales móviles en algunos procesos asociados a la planta de producción, logística o comercialización	Utiliza terminales móviles en los procesos asociados a la planta de producción, logística y comercialización.

2	1	3	4
15) ¿Existe comunicación, o red, que permita transferencia de datos entre máquinas, o entre productos y máquinas?			
No conocen la tecnología ni la consideran utilizable	Se utiliza información de las máquinas para programar otras.	Utiliza transferencia de datos entre OT y las máquinas CNC para reprogramarlas. Es posible transferir datos entre productos y máquinas, vía cdb, RFID, etc.	Las máquinas están conectadas en red. Es posible transferir datos entre ellas, y entre productos y máquinas (cdb, RFID)
1	2	3	4
16) ¿Realiza análisis de datos masivos, con objeto de detectar patrones, tendencias, etc ?			
No conocen la tecnología ni la consideran utilizable	Conocen la tecnología, cuando sería útil aplicarla y proveedores a los que subcontratar el desarrollo.	Alguna vez ha utilizado los servicios de empresas tecnológicas para realizar análisis de este tipo.	Utiliza de forma habitual el análisis Big Data, mediante personal propio o empresas externas. Al menos en algún proceso de negocio.
1	2	3	4
17) ¿ Realiza en su empresa Análisis y correlación de datos, mediante software de Bussines Intelligence?			
No conocen la tecnología ni la consideran utilizable	Realiza análisis de datos de mediante Excel.	Realiza análisis de datos de mediante Excel de forma habitual	Dispone de una solución BI (bussines intelligence), que utiliza de forma habitual en diversos departamentos.
1	2	3	4
18) ¿Cómo valoraría usted la utilización de sensores externos en máquinas o procesos no automatizados para convertir magnitudes físicas en datos?			
No conocen la tecnología ni la consideran utilizable	Se dispone de sensores solo en maquinaria automatizada	En el 30% de los procesos no automatizados se disponen de elementos externos que miden variables físicas y las convierten en datos	En el 70% de los procesos no automatizados se disponen de elementos externos que miden variables físicas y las convierten en datos.
1	2	3	4
19) ¿Que tan incorporada está la Impresión 3D con cualquier finalidad: prototipos, muestras, productos, matrices, moldes, etc?			
No conocen la tecnología ni la consideran utilizable	Conocen la tecnología, cuando sería útil aplicarla y proveedores	Han utilizado la tecnología de forma esporádica	Se utiliza de forma habitual en algún proceso
1	2	3	4
20) ¿Que tan incorporada está la Visión artificial con cualquier finalidad: defectos, posición, etc.?			
No conocen la tecnología ni la consideran utilizable	Conocen la tecnología, cuando sería útil aplicarla y proveedores	Han utilizado la tecnología de forma esporádica	Se utiliza de forma habitual en algún proceso
1	2	3	4
21) ¿Se usan en la organización sistemas automatizados programables, tipo Robots, CNC y similares?			
No conocen la tecnología ni la consideran utilizable	Dispone de algún proceso automatizado (menos del 25%)	Dispone de un 50% de procesos automatizados. Algunos procesos manuales (20%) están optimizados	El 90% de los procesos susceptibles de automatización, lo están. Los procesos netamente

			manuales están organizados para optimizar la eficiencia.
1	2	3	4
22) ¿Se usan en la organización dispositivos que incorporan capacidad de procesamiento, además de capacidad de detección o medición de variables físicas ajenos a las máquinas?			
No conocen la tecnología ni la consideran utilizable	Solo se dispone de elementos de medición en procesos con maquinaria automatizada	En máquinas o procesos no automatizados disponen de sistemas embebidos externos que permiten adoptar decisiones (40% de procesos)	En máquinas o procesos no automatizados disponen de sistemas embebidos externos que permiten adoptar decisiones (90% de procesos).
1	2	3	4
23) ¿Que tan incorporado está el uso de simulaciones para hacer previsiones y/o simular resultados?			
No conocen la tecnología ni la consideran utilizable	Se conoce la tecnología y se realizan simulaciones en excel.	Se utiliza excel con frecuencia para simular procesos	Existe un departamento interno o externo con personas y software para simulación.
1	2	3	4
24) ¿Cuál es la capacidad actual de su organización para llevar a cabo una personalización masiva de sus productos y servicios?			
No existe capacidad / No aplica para la organización	Existen proyectos formulados	Existen proyectos con al menos un producto	Se puede llevar a cabo una personalización al menos en el 30% de los productos
1	2	3	4
25) ¿Cuál es la capacidad actual de su organización para manejar tamaños de series de producción más cortas?			
No existe capacidad / No aplica para la organización	Existen proyectos formulados	Existen proyectos con al menos un piloto	Se han minimizado los tamaños de las series de producción en más de un producto
1	2	3	4
26) ¿En qué medida utiliza las tecnologías de sensores en productos y /o aplicaciones móviles para captar y analizar la información?			
No se usa	Se planea usar en un futuro cercano	Se usa en al menos un producto	Se usa en más de un producto
1	2	3	4
27) ¿ Cómo describiría usted la capacidad para mantener una relación con el cliente tras la venta del producto, de forma que se siguen generando oportunidades de negocio mediante la atención a sus necesidades post-venta?			
No hay ninguna relación con clientes	Se tiene una base de datos de clientes para consultar	Se tiene una base de datos y se intercambia información con clientes	Existen procesos estructurados de información y análisis con los clientes actuales o potenciales
1	2	3	4
28) Con la inversión en tecnología. ¿Cuál es la característica que pretende en su empresa?			
Modernizar la operación actual sin cambiar la forma de operar	Transformar la forma de operar	Desarrollar nuevos modelos de negocio habilitados por nuevas tecnologías	Apoyar el desarrollo de nuevos productos



Anexo 2: Actividades económicas relacionadas con la manufactura definidas por los códigos

- 1011 Procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos
- 1012 Procesamiento y conservación de pescados, crustáceos y moluscos
- 1020 Procesamiento y conservación de frutas, legumbres, hortalizas y tubérculos
- 1030 Elaboración de aceites y grasas de origen vegetal y animal
- 1040 Elaboración de productos lácteos
- 1051 Elaboración de productos de molinería
- 1052 Elaboración de almidones y productos derivados del almidón
- 1061 Trilla de café
- 1062 Descafeinado, tostión y molienda del café
- 1063 Otros derivados del café
- 1071 Elaboración y refinación de azúcar
- 1072 Elaboración de panela
- 1081 Elaboración de productos de panadería
- 1082 Elaboración de cacao, chocolate y productos de confitería
- 1083 Elaboración de macarrones, fideos, alucuzuz y productos farináceos similares
- 1084 Elaboración de comidas y platos preparados
- 1089 Elaboración de otros productos alimenticios n.c.p.
- 1090 Elaboración de alimentos preparados para animales
- 1101 Destilación, rectificación y mezcla de bebidas alcohólicas
- 1102 Elaboración de bebidas fermentadas no destiladas
- 1103 Producción de malta, elaboración de cervezas y otras bebidas malteadas
- 1104 Elaboración de bebidas no alcohólicas, producción de aguas minerales y de otras aguas embotelladas
- 1200 Elaboración de productos de tabaco
- 1311 Preparación e hilatura de fibras textiles
- 1312 Tejeduría de productos textiles
- 1313 Acabado de productos textiles
- 1391 Fabricación de tejidos de punto y ganchillo
- 1392 Confección de artículos con materiales textiles, excepto prendas de vestir
- 1393 Fabricación de tapetes y alfombras para pisos
- 1394 Fabricación de cuerdas, cordeles, cables, bramantes y redes
- 1399 Fabricación de otros artículos textiles n.c.p.
- 1410 Confección de prendas de vestir, excepto prendas de piel
- 1420 Fabricación de artículos de piel
- 1430 Fabricación de artículos de punto y ganchillo
- 1511 Curtido y recurtido de cueros; recurtido y teñido de pieles
- 1512 Fabricación de artículos de viaje, bolsos de mano y artículos similares elaborados en cuero, y fabricación de artículos de talabartería y guarnicionería
- 1513 Fabricación de artículos de viaje, bolsos de mano y artículos similares; artículos de talabartería y guarnicionería elaborados en otros materiales
- 1521 Fabricación de calzado de cuero y piel, con cualquier tipo de suela
- 1522 Fabricación de otros tipos de calzado, excepto calzado de cuero y piel

- 1523 Fabricación de partes del calzado
- 1610 Aserrado, acepillado e impregnación de la madera
- 1620 Fabricación de hojas de madera para enchapado; fabricación de tableros contrachapados, tableros laminados, tableros de partículas y otros tableros y paneles
- 1630 Fabricación de partes y piezas de madera, de carpintería y ebanistería para la construcción
- 1640 Fabricación de recipientes de madera
- 1690 Fabricación de otros productos de madera; fabricación de artículos de corcho, cestería y espartería
- 1701 Fabricación de pulpas (pastas) celulósicas; papel y cartón
- 1702 Fabricación de papel y cartón ondulado (corrugado); fabricación de envases, empaques y de embalajes de papel y cartón.
- 1709 Fabricación de otros artículos de papel y cartón
- 1811 Actividades de impresión
- 1812 Actividades de servicios relacionados con la impresión
- 1820 Producción de copias a partir de grabaciones originales
- 1910 Fabricación de productos de hornos de coque
- 1921 Fabricación de productos de la refinación del petróleo
- 1922 Actividad de mezcla de combustibles
- 2011 Fabricación de sustancias y productos químicos básicos
- 2012 Fabricación de abonos y compuestos inorgánicos nitrogenados
- 2013 Fabricación de plásticos en formas primarias
- 2014 Fabricación de caucho sintético en formas primarias
- 2021 Fabricación de plaguicidas y otros productos químicos de uso agropecuario
- 2022 Fabricación de pinturas, barnices y revestimientos similares, tintas para impresión y masillas
- 2023 Fabricación de jabones y detergentes, preparados para limpiar y pulir; perfumes y preparados de tocador
- 2029 Fabricación de otros productos químicos n.c.p.
- 2030 Fabricación de fibras sintéticas y artificiales
- 2100 Fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y productos botánicos de uso farmacéutico
- 2211 Fabricación de llantas y neumáticos de caucho
- 2212 Reencauche de llantas usadas
- 2219 Fabricación de formas básicas de caucho y otros productos de caucho n.c.p.
- 2221 Fabricación de formas básicas de plástico
- 2229 Fabricación de artículos de plástico n.c.p.
- 2310 Fabricación de vidrio y productos de vidrio
- 2391 Fabricación de productos refractarios
- 2392 Fabricación de materiales de arcilla para la construcción
- 2393 Fabricación de otros productos de cerámica y porcelana
- 2394 Fabricación de cemento, cal y yeso
- 2395 Fabricación de artículos de hormigón, cemento y yeso

- 2396 Corte, tallado y acabado de la piedra
- 2399 Fabricación de otros productos minerales no metálicos n.c.p.
- 2410 Industrias básicas de hierro y de acero
- 2421 Industrias básicas de metales preciosos
- 2429 Industrias básicas de otros metales no ferrosos
- 2431 Fundición de hierro y de acero
- 2432 Fundición de metales no ferrosos
- 2511 Fabricación de productos metálicos para uso estructural
- 2512 Fabricación de tanques, depósitos y recipientes de metal, excepto los utilizados para el envase o transporte de mercancías
- 2513 Fabricación de generadores de vapor, excepto calderas de agua caliente para calefacción central
- 2520 Fabricación de armas y municiones
- 2591 Forja, prensado, estampado y laminado de metal; pulvimetalurgia
- 2592 Tratamiento y revestimiento de metales; mecanizado
- 2593 Fabricación de artículos de cuchillería, herramientas de mano y artículos de ferretería
- 2599 Fabricación de otros productos elaborados de metal n.c.p.
- 2610 Fabricación de componentes y tableros electrónicos
- 2620 Fabricación de computadoras y de equipo periférico
- 2630 Fabricación de equipos de comunicación
- 2640 Fabricación de aparatos electrónicos de consumo
- 2651 Fabricación de equipo de medición, prueba, navegación y control
- 2652 Fabricación de relojes
- 2660 Fabricación de equipo de irradiación y equipo electrónico de uso médico y terapéutico
- 2670 Fabricación de instrumentos ópticos y equipo fotográfico
- 2680 Fabricación de medios magnéticos y ópticos para almacenamiento de datos
- 2711 Fabricación de motores, generadores y transformadores eléctricos
- 2712 Fabricación de aparatos de distribución y control de la energía eléctrica
- 2720 Fabricación de pilas, baterías y acumuladores eléctricos
- 2731 Fabricación de hilos y cables eléctricos y de fibra óptica
- 2732 Fabricación de dispositivos de cableado
- 2740 Fabricación de equipos eléctricos de iluminación
- 2750 Fabricación de aparatos de uso doméstico
- 2790 Fabricación de otros tipos de equipo eléctrico n.c.p.
- 2811 Fabricación de motores, turbinas, y partes para motores de combustión interna
- 2812 Fabricación de equipos de potencia hidráulica y neumática
- 2813 Fabricación de otras bombas, compresores, grifos y válvulas
- 2814 Fabricación de cojinetes, engranajes, trenes de engranajes y piezas de transmisión
- 2815 Fabricación de hornos, hogares y quemadores industriales
- 2816 Fabricación de equipo de elevación y manipulación
- 2817 Fabricación de maquinaria y equipo de oficina (excepto computadoras y equipo periférico)
- 2818 Fabricación de herramientas manuales con motor

- 2819 Fabricación de otros tipos de maquinaria y equipo de uso general n.c.p.
- 2821 Fabricación de maquinaria agropecuaria y forestal
- 2822 Fabricación de máquinas formadoras de metal y de máquinas herramienta
- 2823 Fabricación de maquinaria para la metalurgia
- 2824 Fabricación de maquinaria para explotación de minas y canteras y para obras de construcción
- 2825 Fabricación de maquinaria para la elaboración de alimentos, bebidas y tabaco
- 2826 Fabricación de maquinaria para la elaboración de productos textiles, prendas de vestir y cueros
- 2829 Fabricación de otros tipos de maquinaria y equipo de uso especial n.c.p.
- 2910 Fabricación de vehículos automotores y sus motores
- 2920 Fabricación de carrocerías para vehículos automotores; fabricación de remolques y semirremolques
- 2930 Fabricación de partes, piezas (autopartes) y accesorios (lujos) para vehículos automotores
- 3011 Construcción de barcos y de estructuras flotantes
- 3012 Construcción de embarcaciones de recreo y deporte
- 3020 Fabricación de locomotoras y de material rodante para ferrocarriles
- 3030 Fabricación de aeronaves, naves espaciales y de maquinaria conexas
- 3040 Fabricación de vehículos militares de combate
- 3091 Fabricación de motocicletas
- 3092 Fabricación de bicicletas y de sillas de ruedas para personas con discapacidad
- 3099 Fabricación de otros tipos de equipo de transporte n.c.p.
- 3110 Fabricación de muebles
- 3120 Fabricación de colchones y somieres
- 3210 Fabricación de joyas, bisutería y artículos conexos
- 3220 Fabricación de instrumentos musicales
- 3230 Fabricación de artículos y equipo para la práctica del deporte
- 3240 Fabricación de juegos, juguetes y rompecabezas
- 3250 Fabricación de instrumentos, aparatos y materiales médicos y odontológicos (incluido mobiliario)
- 3290 Otras industrias manufactureras n.c.p.

Anexo 3: lista de empresas a las cuáles se les aplicó el instrumento

LAURA SAS
Industrias Médicas Sampedro
Coldeplast SAS
Productos Familia S.A
Estudio de Moda S.A.S
Renault Sofasa
Naftalina SA
Cementos ARGOS SA
Compañía de Galletas Noel S.A.S.
CUEROS VELEZ SAS
New Stetic SA
PREBEL SA
LANDERS
GASEOSAS POSADA TOBON S A
BRINSA SA
Interamericana De Productos Quimicos S A Interquim
LEONISA
Incolmotos Yamaha
PREMEX SA
Contegral SAS
Agrosan SAS
PANAMERICANA DE ALIMENTOS SAS
Fábrica de licores de Antioquia FLA
BAVARIA SA

Anexo 4: Carta para validación de constructo personal externo

Agradezco su interés por validar el instrumento de evaluación.

La siguiente encuesta está diseñada para captar la percepción del grado de transformación tecnológica y productiva en las empresas manufactureras grandes de la ciudad de Medellín con el fin de establecer puntos iniciales para la transformación hacia la industria 4.0 y entender el contexto teórico y metodológico como apoyo a futuras investigaciones.

El cuestionario consta de un total de 28 preguntas, divididas en 4 secciones, cada pregunta está formulada de manera que su respuesta debería reflejar el grado de madurez de la cuestión tratada en una escala de 1 a 4 y para analizar la validez del instrumento se solicita evaluar a su criterio la pertinencia y relevancia en cada pregunta, en una escala de cuatro puntos de 1 a 4 donde 1= no pertinente y no relevante, y 4=muy pertinente y muy relevante.

Si tiene dudas relacionadas con este cuestionario, póngase en contacto con cramir49@eafit.edu.co, aguarin@eafit.edu.co

ANÁLISIS DE PERTINENCIA Y RELEVANCIA				
1) ¿Dispone de una estrategia de transformación tecnológica dentro de la organización?				CALIFICACIÓN
No existe	Existe, sin embargo no se aplica	Existe una estrategia y primeras implementaciones	Existe una estrategia con al menos un resultado positivo	1 2 3 4
2) ¿Se dispone de una estrategia para la valoración financiera y del impacto de sus inversiones en soluciones de alta tecnología?				
No existe	Se contacta con proveedores en casos específicos	Existe una estrategia y al menos una implementación	Existe una estrategia con al menos un resultado positivo	1 2 3 4
3) ¿En que rango se encuentra el presupuesto anual para inversión en innovación sobre el total de la inversión de la compañía?				
Menos del 2%	Entre el 2% y el 5%	Entre el 5% y el 8%	Mayor al 8%	
4) ¿Se dispone de una estrategia que permita analizar competidores?				1 2 3 4
No existe	Se hacen análisis de la competencia esporádicamente	Existe una estrategia de análisis de información de la competencia	Existe una estrategia sistemática basada en las ventajas competitivas de la compañía para la toma de decisiones	1 2 3 4
5) ¿Se dispone de una estrategia que permita analizar las tendencias de mercado?				

No existe	Se realizan estudios de mercado cuándo el proyecto lo requiere	Existe una estrategia de tendencias de mercado y personal propio o contratista dedicado a este proceso	Existe una estrategia consolidada con al menos un resultado positivo	1 2 3 4
6) ¿ Venden los productos de la empresa en mercados internacionales?				
No se vende en el exterior	Se exporta actualmente por lo menos una referencia de producto	Las ventas por exportación representan por lo menos el 30% de ventas para la compañía	Las ventas por exportación representan por lo menos el 40% de ventas para la compañía	1 2 3 4
7) ¿Usan las redes sociales, blogs, páginas web o aplicaciones propias con fines empresariales: obtener información de usuarios o clientes, información de productos, etc?				
No conocen la tecnología ni la consideran utilizable.	Existen ese tipo de plataformas pero no hay seguimiento	Hay alguna persona que se ocupa de las redes de forma principalmente con finalidad comercial o de difusión.	Disponen de personal dedicado a estas tareas. Se da la explotación de la información a clientes, es útil y obtienen conclusiones demostrables.	1 2 3 4
8) ¿En qué medida su empresa está promoviendo acciones de innovación colaborativa con proveedores, clientes, entidades financieras, universidades, centros de investigación y clúster como agentes del ecosistema industrial de valor?				
No existen acciones de innovación colaborativa	Existen acciones con al menos un agente del ecosistema industrial	Existen acciones con más de un agente del ecosistema industrial	Existen acciones con más de tres agentes del ecosistema industrial	1 2 3 4
9) ¿En qué medida los sistemas de información de su organización generan datos en tiempo real a lo largo de la cadena de valor (información proveniente de la maquinaria o de los procesos)?				
No se generan datos en tiempo real	Se generan datos en tiempo real	Se generan datos en tiempo real y se analizan	Se usan los datos para la toma de decisiones	
10) ¿Cómo valoraría la utilización e integración de sistemas de información ERP(planificación de recursos empresariales) , MES(sistemas de ejecución de fabricación) , CRM (gestión de las relaciones con clientes) en la compañía?				
				1 2 3 4

No existe sistema de información	Disponen de un sistema informático tipo ERP, pero no utilizan el módulo de producción	Dispone como mínimo de un ERP o de sistema de gestión integrado, incluyendo producción.	Dispone al menos de ERP y MES integrados.	1 2 3 4
11) ¿En qué medida se comparten y utilizan los datos generados por los sistemas de información entre las diferentes áreas de la empresa?				
No se comparten	Se comparten pero no se utilizan	Se comparten y se utilizan en algunos casos	Existe interconexión e interoperabilidad entre los diferentes sistemas.	1 2 3 4
12) ¿En qué medida se encuentran implantadas herramientas de ciberseguridad y protección de datos en su organización?				
No existen herramientas de ciberseguridad	Conocen la tecnología, cuando sería útil aplicarla y proveedores a los que subcontratar el desarrollo	Dispone de algunas personas que se dedican principalmente a programación, o bien tiene subcontratada esta tarea.	Dispone de un departamento TIC con personal especializado en estas tecnologías	1 2 3 4
13) ¿En qué medida se encuentran implantadas soluciones Cloud o de trabajo en la nube en su organización?				
No utiliza servicios cloud	Utiliza servicios cloud de algún tipo	Utiliza alguna plataforma cloud para procesos no críticos (archivo de documentación,)	Utiliza plataformas cloud para procesos críticos.	1 2 3 4
14) ¿Se usan en la compañía terminales móviles para desarrollar actividades operativas, en cualquier área: diseño, producción, distribución, comercial, etc. ?				
No conocen la tecnología ni la consideran utilizable	Utiliza terminales móviles solo en la comercialización	Utiliza terminales móviles en algunos procesos asociados a la planta de producción, logística o comercialización	Utiliza terminales móviles en los procesos asociados a la planta de producción, logística y comercialización.	1 2 3 4
15) ¿Existe comunicación, o red, que permita transferencia de datos entre máquinas, o entre productos y máquinas?				

No conocen la tecnología ni la consideran utilizable	Se utiliza información de las máquinas para programar otras.	Utiliza transferencia de datos entre OT y las máquinas CNC para reprogramarlas. Es posible transferir datos entre productos y máquinas, vía cdb, RFID, etc.	Las máquinas están conectadas en red. Es posible transferir datos entre ellas, y entre productos y	1 2 3 4
			máquinas (cdb, RFID)	
16) ¿Realiza análisis de datos masivos, con objeto de detectar patrones, tendencias, etc ?				
No conocen la tecnología ni la consideran utilizable	Conocen la tecnología, cuando sería útil aplicarla y proveedores a los que subcontratar el desarrollo.	Alguna vez ha utilizado los servicios de empresas tecnológicas para realizar análisis de este tipo.	Utiliza de forma habitual el análisis Big Data, mediante personal propio o empresas externas. Al menos en algún proceso de negocio.	1 2 3 4
17) ¿ Realiza en su empresa Análisis y correlación de datos, mediante software de Bussines Intelligence?				
No conocen la tecnología ni la consideran utilizable	Realiza análisis de datos de mediante Excel.	Realiza análisis de datos de mediante Excel de forma habitual	Dispone de una solución BI (bussines intelligence), que utiliza de forma habitual en diversos departamentos.	1 2 3 4
18) ¿Cómo valoraría usted la utilización de sensores externos en máquinas o procesos no automatizados para convertir magnitudes físicas en datos?				
No conocen la tecnología ni la consideran utilizable	Se dispone de sensores solo en maquinaria automatizada	En el 30% de los procesos no automatizados se disponen de elementos externos que miden variables físicas y las convierten en datos	En el 70% de los procesos no automatizados se disponen de elementos externos que miden variables físicas y las convierten en datos.	1 2 3 4
19) ¿Que tan incorporada está la Impresión 3D con cualquier finalidad: prototipos, muestras, productos, matrices, moldes, etc?				
No conocen la tecnología ni la consideran utilizable	Conocen la tecnología, cuando sería útil aplicarla y proveedores	Han utilizado la tecnología de forma esporádica	Se utiliza de forma habitual en algún proceso	1 2 3 4

20) ¿Que tan incorporada está la Visión artificial con cualquier finalidad: defectos, posición, etc.?				
No conocen la tecnología ni la consideran utilizable	Conocen la tecnología, cuando sería útil aplicarla y proveedores	Han utilizado la tecnología de forma esporádica	Se utiliza de forma habitual en algún proceso	
21) ¿Se usan en la organización sistemas automatizados programables, tipo Robots, CNC y similares?				1 2 3 4
No conocen la tecnología ni la consideran utilizable	Dispone de algún proceso automatizado (menos del 25%)	Dispone de un 50% de procesos automatizados. Algunos procesos manuales (20%) están optimizados	El 90% de los procesos susceptibles de automatización, lo están. Los procesos netamente	1 2 3 4
			manuales están organizados para optimizar la eficiencia.	
22) ¿Se usan en la organización dispositivos que incorporan capacidad de procesamiento, además de capacidad de detección o medición de variables físicas ajenos a las máquinas?				
No conocen la tecnología ni la consideran utilizable	Solo se dispone de elementos de medición en procesos con maquinaria automatizada	En máquinas o procesos no automatizados disponen de sistemas embebidos externos que permiten adoptar decisiones (40% de procesos)	En máquinas o procesos no automatizados disponen de sistemas embebidos externos que	1 2 3 4
			permiten adoptar decisiones (90% de procesos).	
23) ¿Que tan incorporado está el uso de simulaciones para hacer previsiones y/o simular resultados?				
No conocen la tecnología ni la consideran utilizable	Se conoce la tecnología y se realizan simulaciones en excel.	Se utiliza excel con frecuencia para simular procesos	Existe un departamento interno o externo con personas y software para simulación.	
24) ¿Cuál es la capacidad actual de su organización para llevar a cabo una personalización masiva de sus productos y servicios?				
No existe capacidad / No aplica para la organización	Existen proyectos formulados	Existen proyectos con al menos un producto	Se puede llevar a cabo una personalización al menos en el 30% de los productos	1 2 3 4
1	2	3	4	
25) ¿Cuál es la capacidad actual de su organización para manejar tamaños de series de producción más cortas?				

No existe capacidad / No aplica para la organización	Existen proyectos formulados	Existen proyectos con al menos un piloto	Se han minimizado los tamaños de las series de producción en más de un producto	1 2 3 4
26) ¿En qué medida utiliza las tecnologías de sensores en productos y/o aplicaciones móviles para captar y analizar la información?				
No se usa	Se planea usar en un futuro cercano	Se usa en al menos un producto	Se usa en más de un producto	
27) ¿Cómo describiría usted la capacidad para mantener una relación con el cliente tras la venta del producto, de forma que se siguen generando oportunidades de negocio mediante la atención a sus necesidades post-venta?				1 2 3 4
No hay ninguna relación con clientes	Se tiene una base de datos de clientes para consultar	Se tiene una base de datos y se intercambia información con clientes	Existen procesos estructurados de información y análisis con los clientes actuales o potenciales	1 2 3 4
28) Con la inversión en tecnología. ¿Cuál es la característica que pretende en su empresa?				
Modernizar la operación actual sin cambiar la forma de operar	Transformar la forma de operar	Desarrollar nuevos modelos de negocio habilitados por nuevas tecnologías	Apoyar el desarrollo de nuevos productos	1 2 3 4