

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Manufactura ecuatoriana hacia la industria 4.0: Estudio  
de caracterización del estado de madurez digital de las  
empresas de manufactura ecuatorianas**

**Melissa Alejandra Valarezo Pumagualle**

**Ingeniería Industrial**

Trabajo integración curricular presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniero Industrial

Quito, 17 de diciembre de 2019

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO  
USFQ  
COLEGIO CIENCIAS E INGENIERÍAS**

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Manufactura ecuatoriana hacia la industria 4.0:  
Estudio de caracterización del estado de madurez  
digital de las empresas de manufactura ecuatorianas**

**Melissa Alejandra Valarezo Pumagualle**

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Carlos Suárez, Ph.D.

Firma del profesor

---

Quito, 17 de diciembre de 2019

## Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Melissa Alejandra Valarezo Pumagualle

Código: 00124105

Cédula de Identidad: 1720437571

Lugar y fecha: Quito, 17 de diciembre de 2019

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en estas líneas la ayuda prestada por muchas personas durante la realización de este trabajo de titulación.

En primer lugar, a la Universidad, por ofrecerme la libertad de aprender y formarme no solo como profesional, sino como persona, además de contar con excelentes profesores que me guiaron con sus conocimientos durante mi vida universitaria.

A Paúl Rivera, Gerente de Cognitiva, por el apoyo, confianza y recursos brindados para que la presente investigación se culmine.

A mis padres, por el sacrificio y confianza brindados para que pueda formarme como ingeniera industrial en la mejor universidad del país.

A mis hermanas, Marcela y Camila, por comprenderme en los momentos difíciles y quererme a pesar de las circunstancias.

A Carlos Suárez, por los consejos y guías brindadas durante la realización de esta tesis, así como los conocimientos compartidos durante mi carrera universitaria, los cuales ha resultado ser ventajosos para abrirme paso en el mundo profesional.

A todos mis amigos que me han acompañado desde que tengo memoria, me han brindado su apoyo y hacen que mi vida esté llena de alegría y gratitud: Karla, Juan, Gabriela, Pavel, Diego, Nicole, Liz y Ariana.

## RESUMEN

La transformación digital y la industria 4.0 son términos que están ganando cada vez más importancia. Las empresas actualmente se encuentran atravesando la cuarta revolución industrial, por lo que deben enfrentarse a cambios en la gestión de sus sistemas, procesos y modelos de negocio para mantenerse competitivas. La manufactura, es uno de los sectores que se mantienen relevantes en la economía y enfrentan grandes cambios. Las empresas alrededor del mundo ya han comenzado a aprovechar las nuevas tendencias tecnológicas, no obstante, existe una brecha, ya que muchas de estas implementan tecnología sin estrategia y dirección. Las empresas de manufactura ecuatorianas no son la excepción. Los objetivos principales de este estudio fueron conocer el estado de madurez de las empresas de manufactura ecuatorianas, así como proponer una hoja de ruta junto con un portafolio de herramientas para que las empresas puedan iniciar su transformación digital. Se obtuvo la participación de 25 empresas de manufactura medianas y grandes. La mayoría de estas organizaciones poseen un nivel de madurez pre-infantil o infantil, sin embargo también hay empresas en los niveles de explorador y adulto. Se presentan gráficas comparativas de las distintas prioridades competitivas, palancas de fabricación y estrategias.

**Palabras Clave:** Madurez Digital, Transformación Digital, Industria 4.0, Ecuador, Manufactura.

## ABSTRACT

Digital transformation and industry 4.0 are terms that have been gaining importance. Currently, companies are going through the fourth industrial revolution, so they must face changes in their systems management, processes and business models to remain competitive. Manufacturing is one of the sectors that remain relevant in the economy and face major changes. Companies around the world have already begun to take advantage of the new technological trends, however, there is a gap, since many of them implement technology without strategy and direction. Ecuadorian manufacturing companies are no exception. The main objectives of this study were to find out the maturity status of Ecuadorian manufacturing companies, as well as to propose a road map along with a portfolio of tools so that companies can begin their digital transformation. The participation of 25 medium and large manufacturing companies was obtained. Most of organizations studied have a level of pre-infant or infant maturity, however there are also companies in the explorer and adult levels. Comparative graphs of the different competitive priorities, manufacturing levers and strategies are presented.

**Keywords:** Digital Maturity, Digital Transformation, Industry 4.0, Ecuador, Manufacturing.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>11</b>
Definición del Problema/Pregunta .....	12
Establecer Hipótesis.....	13
Experimentación .....	13
A. Probar hipótesis mediante un experimento.....	14
B. Recolectar Datos.....	17
c. Analizar Datos.....	22
<b>HOJA DE RUTA PARA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL.....</b>	<b>24</b>
Fase 1: Estrategia de Manufactura .....	25
Fase 2: Desarrollo de Nuevos Productos y Procesos.....	27
Definición de portafolio de proyectos. ....	27
La pirámide de automatización.....	28
Pirámide de Transformación Digital.....	30
Herramientas para la transformación Digital .....	30
Portafolio de Herramientas.....	32
Descripción de Portafolio de Herramientas .....	33
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>35</b>
Tasa de Respuesta .....	35
Resultados Demográficos.....	36
Estadística Descriptiva.....	37
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>39</b>
<b>Anexo A: Niveles de Pirámide de Automatización.....</b>	<b>41</b>
<b>Anexo B. Niveles de madurez Digital.....</b>	<b>42</b>
<b>Anexo C: Dimensiones para la valoración de niveles de madurez digital.....</b>	<b>42</b>
<b>Anexo D: Elementos a medir para cada dimensión .....</b>	<b>43</b>
<b>Anexo E: Arquitectura de IOT.....</b>	<b>44</b>
<b>Anexo F: Revisión literaria para determinar las herramientas según la prioridad competitiva.....</b>	<b>46</b>
<b>Anexo G: Ecuación de normalización.....</b>	<b>46</b>
<b>Anexo H: Correo electrónico enviado en la primera campaña para recolectar respuestas .....</b>	<b>47</b>
<b>Anexo I: Correo electrónico enviado en la segunda campaña para recolectar respuestas</b>	<b>48</b>
<b>Anexo J: Explicación extendida de los niveles de la pirámide de automatización .....</b>	<b>49</b>
<b>Anexo K: Explicación extendida de los niveles de la pirámide de transformación digital.</b>	<b>51</b>
<b>Anexo L: Explicación extendida de las tendencias tecnológicas de la industria 4.0 .....</b>	<b>54</b>
<b>Anexo M: Explicación extendida de los niveles de Madurez Digital según el portafolio de herramientas.....</b>	<b>62</b>
<b>Anexo N: Tasa de respuesta de los correos electrónicos enviados.....</b>	<b>71</b>
<b>Anexo O. Gráficas de Resultados.....</b>	<b>73</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>79</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de tamaño de empresas según volúmenes de ventas y personal ocupado.....	15
Figura 2: Árbol de decisión de los tipos de muestreo no probabilístico .....	18
Figura 3: Diagrama de la estratificación tri-etápica para diseño muestral de estudio logístico. Fuente: Departamento Nacional de Planeación .....	19
Figura 4: Mapa del Ecuador segmentado por zonas de planificación. Fuente: Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo .....	19
Figura 5: Componentes principales en la estrategia de manufactura .....	26
Figura 6: Hoja de ruta para la transformación hacia la industria 4.0 .....	28
Figura 7. Pirámide de automatización .....	29
Figura 8, Descripción de Niveles de la Pirámide de Automatización.....	29
Figura 9. Descripción de los niveles de la pirámide de transformación digital .....	30
Figura 10. Tendencias de herramientas tecnológicas para la industria 4.0. Fuente: Elaboración Propia. ....	32
Figura 11. Descripción de cada Nivel de Madurez Digital .....	34
Figura 12. Ubicación y tasa de respuesta de las encuestas enviadas en la primera campaña .....	35
Figura 13. Ubicación geográfica de respuestas. Fuente. ....	36
Figura 14. Proporción de empresas encuestadas según tamaño .....	36
Figura 15. Actividad de empresas encuestadas .....	37
Figura 16. Resumen de resultados obtenidos de las encuestas .....	37
Figura 17. Nivel de Madurez de las empresas encuestadas.....	38
Figura 18. Gráfico de dispersión del promedio de madurez digital según área de la empresa.....	38
Figura 19. Madurez Digital de las prioridades competitivas, palancas de fabricación y estrategia.....	39
Figura 20. Pirámide de transformación digital .....	51
Figura 21. Dispersión del nivel de madurez digital de las empresas según el área.....	74
Figura 22. Número de respuestas totales según el área.....	74
Figura 23. Conteo de la prioridad competitiva que las empresas consideran más importante.....	75
Figura 24. Prioridad competitiva más importante según empresa.....	75
Figura 25. Nivel de Madurez de la Prioridad Competitiva de Costo.....	76
Figura 26. Nivel de Madurez de la Prioridad Competitiva de Calidad.....	76
Figura 27. Nivel de Madurez de la Prioridad Competitiva de Flexibilidad.....	77
Figura 28. Nivel de Madurez de la Prioridad Competitiva de Global.....	77
Figura 29. Nivel de Madurez de la Prioridad Competitiva de Innovación .....	78
Figura 30. Nivel de Madurez de la Prioridad Competitiva de Tiempo .....	78



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Número de empresas clasificadas por tamaño .....	15
Tabla 2: Número de empresas de manufactura totales según zonas de planificación y su tamaño .....	20
Tabla 3: Porcentaje equivalente del total de número de empresas de manufactura según zonas de planificación y tamaño .....	21
Tabla 4: Fracción de empresas de manufactura en base al tamaño de muestra según zonas de planificación y tamaño .....	21
Tabla 5. Equivalencia entre los distintos niveles de madurez digital con la pirámide de automatización y transformación digital. ....	32
Tabla 6. Portafolio de herramientas para la transformación digital. ....	33

## INTRODUCCIÓN

Las compañías de manufactura alrededor del mundo están enfrentando desafíos substanciales debido a los recientes desarrollos en ámbitos medio ambientales, sociales, económicos y tecnológicos. Para estar al nivel de estos desafíos, las empresas del futuro deberán ser capaces de manejar sus operaciones y cadena de valor de forma ágil (Schumacher, et al., 2016). Sin embargo, la fortaleza de las tecnologías digitales no reside en la tecnología por sí misma, sino en la manera en que las empresas las integran para transformar sus negocios (Kane, et al., 2015). Pensar de forma estratégica en la manufactura es importante para crear y consolidar capacidades duraderas y robustas, es decir, que permitan mejorar el desempeño de las empresas y su supervivencia a largo plazo (Vivares Vergara, 2017). Las empresas deben desarrollar enfoques factibles para poder ser aplicados en la vida real, por lo que los modelos de madurez resultan ser una alternativa adecuada para la formación de una estrategia (Vivares Vergara, 2017). Los modelos de madurez se utilizan para evaluar el estado actual de una empresa con respecto a un estado ideal (Pöppelbuß & Röglinger, 2011). Para la transformación digital, las empresas han comenzado a usar modelos de madurez digital (Ochoa, 2017). La madurez digital consiste en que las organizaciones se adapten y compitan eficientemente en un ambiente digital cada vez más creciente (Kane, et al., 2015). Hay que entender el término digital como un sinónimo de transformación digital, el cual hace referencia a la implantación de nuevas tecnologías de la información, plataformas y nuevos modelos de negocio para poder explotar nuevas oportunidades (Ochoa, 2017). En los últimos años, en el sector manufacturero de Ecuador ha existido una tendencia creciente en la inversión de tecnologías de la información (TIC), lo que también ha significado un incremento en el porcentaje de empresas que poseen especialistas en TIC, además de la utilización de sistemas operativos, herramientas de ofimática,

internet, redes sociales, entre otros (INEC, 2016). El sector de manufactura en Ecuador es pequeño en comparación con el resto del mundo; para fortalecer este sector de forma integral se debe cumplir el eje estratégico, el cual se refiere al cambio de la matriz productiva; este eje propone que para incrementar los niveles de productividad se debe optar por una economía más industrializada, mayor implementación de tecnología y competencia en la mano de obra (Cial Dun & Bradstreet, 2018).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El presente estudio posee dos objetivos principales: conocer el estado de madurez digital de las empresas de manufactura ecuatorianas y ayudarlas a generar su propia hoja de ruta, además de sugerir un portafolio de herramientas para que las mismas se encaminen hacia la transformación digital.

Para determinar el nivel de madurez digital de las empresas de manufactura, se escogió el método científico, ya que es un proceso de experimentación que se utiliza para explorar observaciones y responder preguntas (Sree, 2010). Se usa con el fin de probar cierto número de hipótesis que surgen de un problema o pregunta de investigación (Sree, 2010).

Según Sree (2010), el método consiste en cuatro pasos principales:

1. Definir Problema/Pregunta
2. Establecer hipótesis
3. Experimentación
  - a. Probar las hipótesis mediante un experimento
  - b. Recolectar Datos
  - c. Analizar Datos
4. Conclusiones

Adicionalmente, para ayudar a las empresas a formular su propia hoja de ruta, se ha realizado una revisión literaria para plantear una metodología según la industria 4.0 y se ha construido un portafolio de herramientas como parte de la hoja de ruta en base a las prioridades competitivas y nivel de madurez digital; esto servirá como guía para que las empresas diseñen su estrategia dentro del sector manufactura con un enfoque hacia la transformación digital. El portafolio ofrece una perspectiva general de las tendencias tecnológicas que las empresas podrían seguir en base a sus características, sin embargo, no plantea proyectos particulares, ya que cada organización es distinta y deben considerarse muchas variables, lo que queda fuera del alcance.

### **Definición del Problema/Pregunta**

La transformación digital está estrechamente relacionada con la estrategia de las empresas, ya que, estas se encuentran implementado tecnologías, muchas veces de manera individual, es decir, sin considerar que para esta transformación es necesario incorporar a todas las entidades involucradas, en este caso, todo el proceso de transformación productiva. La implementación de tecnología sin objetivos claros impide a las empresas avanzar en la mejor dirección (Kane, et al., 2015, 4 p.).

Según Brown (2007), las mejores prácticas involucran operaciones que no tengan una estrategia simplemente basada en contenido, es decir, las empresas con mejores prácticas son aquellas que tienen programas específicos con el objetivo de desarrollar las capacidades de la empresa. El plan estratégico que esté limitado simplemente a los niveles superiores no funcionará, ya que es a nivel operacional en donde se toman decisiones a diario y, desde adentro, terminan afectando a toda la organización (Brown, 2007). Existe una necesidad de tomar en cuenta tanto los niveles estratégicos, como operativos dentro de una empresa de manufactura, ya que ambas son interdependientes, es decir, las decisiones a nivel estratégico tienen un impacto

profundo a nivel operacional y un adecuado manejo de las operaciones, tiene un gran impacto en la eficiencia del nivel estratégico, específicamente con relación al uso inteligente de los recursos. Entonces, incluso si la estrategia se considera importante para alcanzar la capacidad de respuesta a los cambios del mercado, no es suficiente si no se alcanza la capacidad de respuesta a nivel operacional (Martínez-Olvera & Mora-Vargas, 2019).

En la actualidad, las empresas se encuentran enfrentando constantes desafíos relacionados a la tecnología (Schumacher, et al., 2016). De manera que, estas se han visto obligadas a implementar cambios con el fin de transformar sus negocios implementando nuevas tecnologías (Kane, et. al., 2015). Por esta razón, surgió la curiosidad de conocer el estado de madurez digital de las empresas manufactureras ecuatorianas, ya que la industria de manufactura es el segundo sector de mayor participación en el PIB, con una participación registrada de alrededor del 13% en el 2017 (Zabala Andrade, 2018). Adicionalmente, en los últimos años se ha visto un crecimiento en la inversión del sector manufacturero en tecnologías de la información (INEC, 2016).

### **Establecer Hipótesis**

En base a la investigación realizada acerca de la situación actual de la manufactura y la tecnología en el Ecuador, se ha establecido la siguiente hipótesis:

- *Más del 50% de las empresas de manufactura ecuatorianas se encuentran en los niveles “pre-infantil” e “infantil”, según el modelo de madurez digital.*

### **Experimentación**

El presente modelo de madurez busca caracterizar a las empresas de manufactura ecuatoriana en términos de transformación digital orientada

específicamente a los procesos de transformación productiva. Se pretende medir los principales factores de una industria manufacturera típica ecuatoriana. Tomando en cuenta que una industria manufacturera, según el INEC (2010) es aquella que realiza la transformación ya sea física o química de materiales, sustancias o componentes en productos nuevos. Las empresas que se seleccionarán serán medianas y grandes, en base a la clasificación propuesta por el Directorio de Empresas.

**a. Probar hipótesis mediante un experimento.**

Para probar la hipótesis, en este caso se usó un modelo de madurez digital, el cual consiste en una encuesta que permitirá generar datos para que sean analizados posteriormente. Sin embargo, dado que la herramienta es una encuesta, es importante establecer un tamaño de muestra y método de muestreo apropiados.

Según el Directorio de Empresas del Ecuador (DIEE), en el 2017 se registraron 73.474 en el sector de Manufactura. Por otro lado, por PIB, las cinco provincias con mayor aportación son: Pichincha, Guayas, Manabí, Azuay y Tungurahua. Estas provincias aportan con alrededor del 89% del PIB manufacturero en Ecuador (Banco Central del Ecuador, 2017).

Además, la rama industrial que más aporta en el PIB manufacturero es alimentos y bebidas con 55%, le sigue textiles y cueros con 14%, madera con 10%, plásticos y cauchos con 7%, metalmecánicos 6%, y productos de papel con 4%. Todos estos sectores representan el 95% del PIB industrial manufacturero (DIEE, 2017).

El estudio solamente está enfocado en empresas medianas y grandes, debido a que estas empresas se consideran más estables y con potencial crecimiento. Según el DIEE (2017), la clasificación de empresas por tamaño es:

Clasificación de las empresas	Volúmenes de ventas anuales	Personal ocupado
Micro empresa	Menor o igual a 100.000	1 A 9
Pequeña empresa	De 100.001 a 1'000.000	10 A 49
Mediana empresa "A"	De 1'000.001 a 2'000.000	50 A 99
Mediana empresa "B"	De 2'000.001 a 5'000.000	100 A 199
Grande empresa	De 5'000.001 en adelante	200 en adelante

**Nota:** Estratos de Ventas, según la Comunidad Andina de Naciones. Decisión 702, Artículo 3.

Figura 1. Clasificación de tamaño de empresas según volúmenes de ventas y personal ocupado. Fuente: Directorio de empresas y establecimientos del Ecuador (DIEE). (2017). Directorio de Empresas. Recuperado el 20 de noviembre del 2018 de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/directoriodeempresas/>

El INEC (2017), proporciona un visualizador de estadísticas productivas en el que se obtuvo la cantidad de empresas medianas y grandes del Ecuador por sector económico.

Tabla 1: Número de empresas clasificadas por tamaño

Sector económico	Mediana A	Mediana B	Grande	Total
Manufactura	657	547	679	1883

Fuente: INEC. (2017). Visualizador de Estadísticas Productivas. Recuperado el 5 de 11 de 2018, de <http://produccion.ecuadorencifras.gob.ec/biblioteca/Nota-Tecnica-13092016.pdf>

Con estos datos se determina que la población objetivo consiste en 1883 empresas. Teniendo en cuenta esto, se puede calcular el tamaño de muestra. Se usa la fórmula de Cochran para datos continuos, ya que se quiere realizar un análisis paramétrico de los resultados de las encuestas.

$$n_0 = \frac{t^2 * s^2}{d^2}$$

Ecuación 1 : Fórmula para el cálculo de tamaño de muestra. Fuente: Bartlett II, J. E., Kotrlik, J. W., & Higgins, C. (2001). Determining Appropriate Sample Size in Survey Research. *Information Technology, Learning, and Performance Journal*, 19(1), 43–50.

Donde:

$t$ , es el valor z para el nivel alfa seleccionado

$s$ , es la estimación de la desviación estándar de la población

$d$ , es el límite aceptable de error muestral

En este caso se consideró un nivel alfa de 0.05, ya que es el valor más utilizado en los estudios de investigación. El valor de  $t$  para un nivel alfa de 0.05 es 1.96 para tamaños de muestra mayores a 120. Para la estimación de la desviación estándar  $\underline{s}$ , de una variable perteneciente a una escala, se debe determinar el rango inclusivo de la escala, y luego dividir por el número de desviaciones estándar que incluirían todos los valores posibles en el rango. Para esto se usa la siguiente fórmula:

$$\underline{s} = \frac{\text{Número de puntos en la escala}}{\text{Número de desviaciones estándar}}$$

*Ecuación 2: Fórmula para estimación de desviación estándar en escalas Fuente: Bartlett II, J. E., Kotrlík, J. W., & Higgins, C. C. (2001). Determining Appropriate Sample Size in Survey Research. Information Technology, Learning, and Performance Journal, 19(1), 43–50.*

La encuesta realizada posee una escala de Likert, es decir, una escala de cinco puntos. Dado que cuatro desviaciones estándar, dos a cada lado de la media, capturarían el 98% de todas las respuestas, la estimación de  $\underline{s}$ , sería la siguiente:

$$\underline{s} = \frac{5}{4} = 1,25$$

Finalmente, para determinar el error muestral aceptable, Bartlett, et al. (2001), enuncia que la regla general del error aceptable es usar 5% para los datos categóricos y 3% para los datos continuos. Por esta razón se optó por el 3%.

Conociendo estos valores, se puede calcular el tamaño de muestra de la siguiente forma:

$$n_0 = \frac{(1.96)^2 * (1.25)^2}{(5 * 0.03)^2}$$

$$n_0 = 267$$

Cabe recalcar que el error aceptable se multiplica por el número total de puntos que posee la escala. Posterior a esto, se debe utilizar la fórmula de corrección de tamaño de muestra para poblaciones finitas; ya que, si la población es finita, entonces el tamaño



de la muestra puede reducirse ligeramente. Esto se debe al hecho de que una población muy grande, proporcionalmente, suministra más información que la de una población más pequeña (Sarmah, et al., 1967).

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0 - 1}{N}}$$

*Ecuación 3: Fórmula de corrección de tamaño de muestra para población finita. Fuente: Sarmah, H. K., Choudhury, G., & Bora Hazarika, B. (1967). An investigation on effect of bias on determination of sample size on the basis of data related to the students of schools of Guwahati; International Journal of Applied Mathematics and Statistical Sciences, 2(February).*

Donde:

$n_0$ , es el tamaño de muestra calculado con la ecuación 1

$N$ , es el tamaño de la población objetivo

Al reemplazar los datos, la fórmula queda de la siguiente manera:

$$n = \frac{267}{1 + \frac{267 - 1}{1883}}$$

$$n = 234$$

Entonces, se observa que el tamaño de muestra mínimo para el presente estudio resulta ser de 234 empresas.

### **b. Recolectar Datos.**

Para esta etapa, es importante determinar el método de muestreo. Debido a la complejidad del estudio y a las limitaciones financieras y de tiempo, se decidió que es mejor utilizar un muestreo no probabilístico. Para escoger el método de muestreo no probabilístico específico, se utilizó un flujograma de decisión propuesto por Saunders, et al., (2009), que se observa en la figura 2. Siguiendo la lógica del flujograma, se encontró que la mejor opción es el muestreo por cuotas, debido a que se desea hacer inferencias estadísticas sobre una muestra representativa bajo las limitaciones

mencionadas. Este método de muestreo se usa comúnmente en encuestas y se basa en la premisa de que la muestra seleccionada representa la población dado que la variabilidad de las muestras por cuota es la misma que en la población (Saunders, Lewis, & Thornhill, 2009). Cabe recalcar, que el muestreo por cuotas es similar al muestreo probabilístico estratificado, la única diferencia es que la selección de los estratos no es completamente aleatoria (Saunders et al., 2009).

Para determinar la muestra por cuotas, Saunders, et al., (2009) especifica cuatro pasos:

1. Dividir la población en grupos específicos.
2. Calcular una cuota para cada grupo en función de los datos relevantes y disponibles.
3. Indicar el número de casos en cada cuota de los que deben recopilar datos.
4. Combinar los datos recopilados para proporcionar la muestra completa.

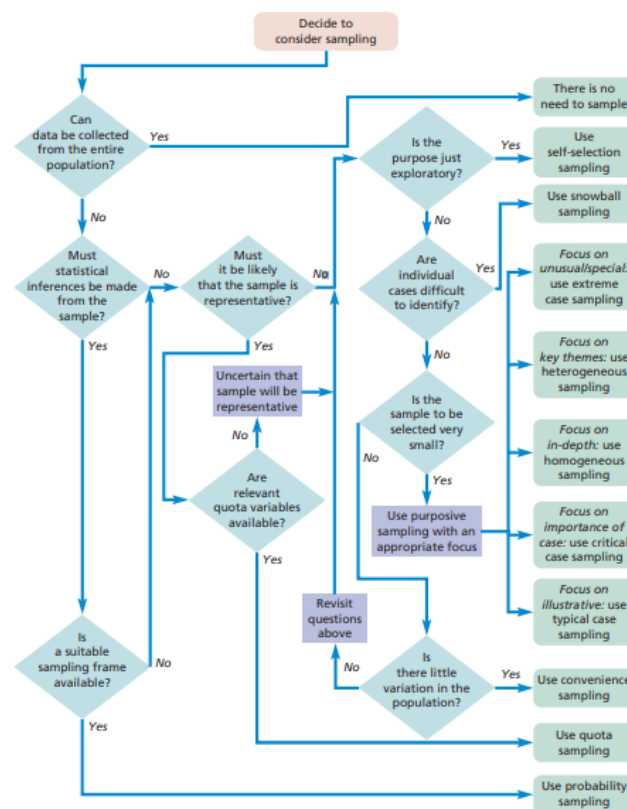


Figura 2: Árbol de decisión de los tipos de muestreo no probabilístico Fuente: Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2009). *A playbook for Research Methods*.

Siguiendo el primer paso, se procede a seguir el mismo proceso de estratificación que se realizó en la encuesta logística nacional de Colombia del 2018. En este estudio se realiza una estratificación de tres etapas, las cuales involucran: región, actividad económica y tamaño de la empresa, como se observa en la figura 3.



Figura 3: Diagrama de la estratificación tri-etápica para diseño muestral de estudio logístico. Fuente: Departamento Nacional de Planeación. (2018). Encuesta Nacional logística. Recuperado el 20 de septiembre de 2019 de <https://onl.dnp.gov.co/es/Publicaciones/SiteAssets/Paginas/Forms/AllItems/Presentaci%C3%B3n%20Encuesta%20nacional%20Log%C3%ADstica%202018.pdf>

En este caso, para la región se consideró la división del país por zonas de planificación designada por la Secretaría Nacional de Planeación y Desarrollo (SENPLADES). Esta división consiste en nueve zonas, las cuales tienen el fin de desconcentrar la administración del estado. La figura 4 muestra las zonas con sus respectivas provincias.



Figura 4: Mapa del Ecuador segmentado por zonas de planificación. Fuente: Secretaría Nacional de Planeación y Desarrollo. (2001). Recuperado el 4 de agosto del 2019 de <http://www.planificacion.gob.ec>

La segunda etapa de estratificación consiste en la actividad económica. Dado que el estudio se centra particularmente en las empresas de manufactura, solamente es de interés las empresas que pertenecen a este sector. Según el Directorio de Empresas del Ecuador (DIEE), en el 2017 se registraron 73.474 en el sector de Manufactura.

Finalmente, para el último nivel de estratificación, se tiene el tamaño de las empresas. La población objetivo de este estudio consiste en empresas medianas y grandes.

Con ayuda del INEC (2017), se pudo determinar la cantidad de empresas registradas por zona de planificación, sector económico y tamaño de la empresa; los valores se presentan en la tabla 2.

*Tabla 2: Número de empresas de manufactura totales según zonas de planificación y su tamaño*

Empresas de Manufactura				
Zonas de Planificación 2017	Mediana empresa "A"	Mediana empresa "B"	Grande empresa	Total
Zona 1- Esmeraldas, Carchi, Imbabura, Sucumbios	16	15	19	50
Zona 2 - Pichincha, Napo, Orellana	28	17	28	73
Zona 3 - Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Pastaza	60	50	41	151
Zona 4 - Manabí, Santo Domingo de los Tsáchilas	28	26	49	103
Zona 5 - Santa Elena, Guayas, Los Ríos, Bolívar, Galápagos	33	26	46	105
Zona 6 - Azuay, Cañar, Morona Santiago	64	34	47	145
Zona 7 - El Oro, Loja, Zamora Chinchipe	13	16	19	48
Zona 8 - Guayaquil, Durán, Samborondón	179	162	230	571
Zona 9 - Quito Distrito Metropolitano	236	201	200	637
<b>Total</b>	657	547	679	1883
<b>Población Objetivo</b>	1883			

*Fuente: Elaboración Propia*

Con estos datos, se procede a calcular el porcentaje equivalente de cada valor con respecto al total. Los resultados se presentan en la tabla 3.

Tabla 3: Porcentaje equivalente del total de número de empresas de manufactura según zonas de planificación y tamaño

Empresas de Manufactura				
Zonas de Planificación 2017	Mediana empresa "A"	Mediana empresa "B"	Grande empresa	Total
Zona 1- Esmeraldas, Carchi, Imbabura, Sucumbíos	0,85%	0,80%	10,1%	2,66%
Zona 2 - Pichincha, Napo, Orellana	1,49%	0,90%	1,49%	3,88%
Zona 3 - Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Pastaza	3,19%	2,66%	2,18%	8,02%
Zona 4 - Manabí, Santo Domingo de los Tsáchilas	1,49%	1,38%	2,60%	5,47%
Zona 5 - Santa Elena, Guayas, Los Ríos, Bolívar, Galápagos	1,75%	1,38%	2,44%	5,58%
Zona 6 - Azuay, Cañar, Morona Santiago	3,40%	1,81%	2,50%	7,70%
Zona 7 - El Oro, Loja, Zamora Chinchipe	0,69%	0,85%	10,1%	2,55%
Zona 8 - Guayaquil, Durán, Samborondón	9,51%	8,60%	12,21%	30,32%
Zona 9 - Quito Distrito Metropolitano	12,53%	10,67%	10,62%	33,83%
<b>Total</b>	<b>34,89%</b>	<b>29,05%</b>	<b>36,06%</b>	<b>100,00%</b>
<b>Población Objetivo</b>	<b>100,00%</b>			

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, siguiendo la metodología de muestreo por cuotas, se procede a encontrar la proporción de cada subgrupo al que se le debería aplicar la encuesta en base al tamaño de muestra calculado previamente, el cual resultó ser de 234 empresas.

Tabla 4: Fracción de empresas de manufactura en base al tamaño de muestra según zonas de planificación y tamaño

Empresas de Manufactura				
Zonas de Planificación 2017	Mediana empresa "A"	Mediana empresa "B"	Grande empresa	Total
Zona 1- Esmeraldas, Carchi, Imbabura, Sucumbíos	2	2	2	6
Zona 2 - Pichincha, Napo, Orellana	3	2	3	9
Zona 3 - Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Pastaza	7	6	5	19
Zona 4 - Manabí, Santo Domingo de los Tsáchilas	3	3	6	13
Zona 5 - Santa Elena, Guayas, Los Ríos, Bolívar, Galápagos	4	3	6	13
Zona 6 - Azuay, Cañar, Morona Santiago	8	4	6	18
Zona 7 - El Oro, Loja, Zamora Chinchipe	2	2	2	6
Zona 8 - Guayaquil, Durán, Samborondón	22	20	29	71
Zona 9 - Quito Distrito Metropolitano	29	25	25	79
<b>Total</b>	<b>82</b>	<b>68</b>	<b>84</b>	<b>234</b>
<b>Tamaño de Muestra</b>	<b>234</b>			

Fuente: Elaboración Propia

Sabiendo esto, se pretende difundir las encuestas a las empresas que cumplan con las características definidas, tratando de cumplir con las proporciones calculadas. Sin embargo, dado que es un método de muestreo no probabilístico, la encuesta se difundió según los recursos disponibles, a través de un mail masivo (Ver Anexo H & I) a alrededor de 1400 empresas y mediante la comunicación personal y telefónica hacia los representantes de distintos gremios con el fin de alcanzar un alto número de respuestas. Los gremios en los que la encuesta se ha difundido son:

- Cámara de Industrias (CIP)
- Cámara de la Pequeña y Mediana Empresa de Pichincha (CAPEIPI)
- Cámara de Industrias y Comercio Ecuatoriano-Alemana (AHK)

### **c. Analizar Datos.**

#### ***c.1. Cálculo de Nivel de Madurez.***

El modelo de madurez utilizado plantea una escala de puntajes que están ligados al nivel de madurez digital. Cada empresa que ha respondido la encuesta obtiene un puntaje entre 46 a 230, el cual es normalizado a una escala de 0 a 100 (Ver Anexo B) que permite categorizar la empresa dentro de uno de los niveles de madurez. El peso de cada aspecto a medir es equivalente al número de preguntas por cada sección, es decir, las prioridades competitivas aportan alrededor del 65% al resultado de madurez digital, las palancas de fabricación aportan un 11% y las estrategias tienen un peso del 24% aproximadamente; todo esto da un total de 100%. Para realizar el análisis de datos de planea hacer uso de Excel y Tableau, ya que se desea tener un promedio agregado de las empresas encuestadas en cuanto a su nivel de madurez digital, así como visualizar los resultados en base a ubicación geográfica.

### ***c.2. Generación de reporte de resultados.***

La naturaleza del presente estudio implica capturar perspectivas de personas con conocimiento de los procesos de producción y/o de tecnología dentro de su empresa de manufactura. Dado a que existen distintas perspectivas, si varias personas de una misma organización responden la encuesta, se espera que existan diferencias en los puntajes y por ende en los niveles de madurez digital. Sin embargo, se considera que se deben tomar en cuenta todas las respuestas que hayan pasado por el filtro de selección. Si bien no existe un consenso en cómo de reportarse una investigación con encuestas, se sabe que la investigación debe informarse de manera transparente para que los lectores puedan evaluar críticamente las fortalezas y debilidades del diseño, la realización y el análisis de los estudios (Bennett, et al., 2011). Por esta razón, para los resultados se consideraron todas las respuestas y se fueron filtradas por tres áreas principales a las que pertenecen los encuestados: Gerencia, que hace referencia a los gerentes generales que respondieron la encuesta; Operaciones, que hace referencia al ámbito de producción, y Tecnología, que hace referencia a las tecnologías de la información con relación a la producción.

Es así, que se generó un reporte para cada empresa con los resultados de todas sus respuestas, filtradas por área. Sin embargo, para realizar la asignación del portafolio, se considerará un promedio de todas las respuestas. Adicionalmente, se presenta un informe acerca de cómo se realizó el estudio para que los encuestados tengan acceso a toda la información pertinente.

### ***c.3. Asignación de portafolio de herramientas.***

Para asignar el portafolio de herramientas a las empresas, se consideró su prioridad competitiva y su puntaje de madurez digital. Mediante funciones de Excel y macros, se creó un sistema de asignación semi automatizado, en el que se asigna a cada

empresa un grupo de herramientas perteneciente al portafolio creado, en base a sus características y se genera un reporte general de sus resultados.

## **HOJA DE RUTA PARA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL**

Muchos gerentes están al tanto de la importancia estratégica de la tecnología para aumentar el valor y la ventaja competitiva dentro de las organizaciones. Las hojas de ruta tecnológicas tienen un gran potencial para respaldar el desarrollo y la implementación de planes estratégicos (Phaal, et al., 2004).

Las hojas de ruta se han convertido en un método importante e integral para que las empresas puedan generar sus propias estrategias e innovar dentro de sus operaciones. Las hojas de ruta tienen una naturaleza gráfica y colaborativa que apoya la alineación entre las funciones dentro de la organización (Alipour Sarvar, et al., 2017). Para desarrollar una hoja de ruta de tecnología, se debe tomar en cuenta la identificación, selección, adquisición, desarrollo, explotación y protección de dicha tecnología; esto permitirá a las empresas crecer y mantener su posición, ya que se espera que los objetivos estén alineados con sus acciones (Alipour Sarvar, et al., 2017).

Una hoja de ruta o mapa de ruta de tecnología es solamente una herramienta gráfica que muestra el punto de inicio, la dirección hacia donde la organización quiere ir y las funciones críticas involucradas (Daim & Oliver, 2008).

Las organizaciones han adaptado el enfoque de la hoja de ruta para apoyar muchos tipos diferentes de objetivos estratégicos y la hoja de ruta de tecnología (Phaal, et al., 2004). Según Phaal (2004), existen ocho tipos de hojas de ruta en base a su propósito y formato. El formato más utilizado dentro del contexto de tecnología es la hoja de ruta



con niveles múltiples, ya que se relaciona con tres niveles primarios: mercado, producto y recursos (Alipour Sarvar, et al., 2017).

El nivel de mercado describe las necesidades actuales y futuras de los clientes, tomando en cuenta las estrategias competitivas, regulaciones, amenazas, entre otros factores. El nivel de producto documenta las características y desempeño de los productos, además de los nuevos productos introducidos en el mercado. Finalmente, el nivel de los recursos estaría enfocado hacia la tecnología, en donde se describe la investigación y desarrollo esperada de los productos, así como fechas de disponibilidad y otra información relacionada (Alipour Sarvar, et al., 2017).

Para proponer una hoja de ruta útil para las empresas de manufactura, conviene entender los componentes importantes. El reconocimiento del potencial tecnológico resulta clave para mejorar la competitividad (Rohrbeck & Schwarz, 2013). Por esta razón, la hoja de ruta propuesta se divide en dos fases. La primera fase consta de las estrategias y tecnologías clave. La segunda fase está compuesta por el desarrollo de nuevos productos y procesos. De esta forma, la hoja de ruta permitirá a cualquier persona entender cada movimiento y las decisiones que deben tomarse (Alipour Sarvar, et al., 2017).

### **Fase 1: Estrategia de Manufactura**

La estrategia de una empresa es la suma de sus estrategias individuales y de los componentes de sus funciones, es decir: fabricación, comercialización, finanzas, investigación y desarrollo (I + D), y así sucesivamente (Miltenburg, 2005). En una empresa exitosa, estas estrategias se enlazan entre sí para proporcionar la mayor ventaja competitiva (Miltenburg, 2005). En algunas empresas, la estrategia empresarial está dominada por funciones no relacionadas a la manufactura directamente, por lo que la

parte de la fabricación a menudo no encaja del todo con la planificación estratégica y termina con un rendimiento mediocre (Miltenburg, 2005).

El objetivo final de las empresas es asegurar una ventaja sostenible a largo plazo sobre sus rivales, lo que termina contribuyendo a la creación de riqueza y al crecimiento a lo largo del tiempo. Los sistemas de manufactura no pueden ser operados o administrados si están aislados del resto de la organización (Arafa & Elmaraghy, 2011). La estrategia de manufactura se define como un patrón de decisiones, tanto estructurales como infraestructurales, que determinan la capacidad de un sistema de manufactura para cumplir con un conjunto de objetivos de manufactura que se ajustan a los objetivos comerciales generales (Arafa & Elmaraghy, 2011)

Para formular una estrategia adecuada se debe determinar dónde se encuentra la empresa y hacia a dónde se dirige. La estrategia dentro de una hoja de ruta debe ser colaborativa. Dentro de esta fase se debe medir la madurez digital con el fin de plantear objetivos claros (Alipour Sarvar, et al., 2017).

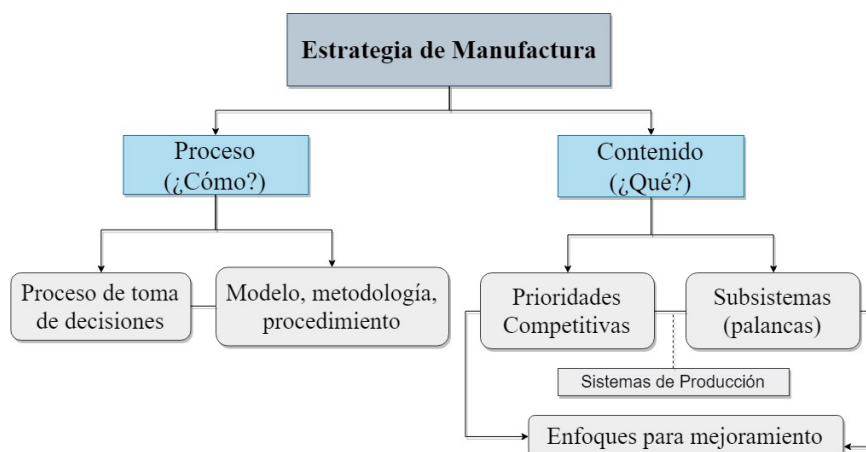


Figura 5: Componentes principales en la estrategia de manufactura. Fuente: Vivares, J. (2017). Modelo de madurez para valorar el sistema de producción y formular una estrategia de manufactura (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Colombia, Menizales.

Mediante el modelo específicamente diseñado para medir la madurez digital de las empresas de manufactura, se puede abarcar todo el contenido de la estrategia, es decir, las prioridades competitivas, los subsistemas de fabricación y los planes de

mejoramiento (Haro, 2019). Las variables específicas a medir de cada aspecto se encuentran en los anexos C y D.

## **Fase 2: Desarrollo de Nuevos Productos y Procesos**

Durante esta fase, las empresas pueden considerar nuevos productos y procesos, así como los desafíos y limitaciones que poseen. Para el propósito de dirigir una empresa hacia la transformación digital, se distinguen tres perspectivas técnicas relevantes: limitaciones tecnológicas, objetivos y proyectos (Alipour Sarvar, et al., 2017). La figura 6 muestra el proceso que se debe seguir. Primero se comienza con la generación de ideas, posteriormente se evalúan las opciones propuestas en base a su factibilidad. Después de analizar las opciones potenciales, se realiza un portafolio y se priorizan los proyectos. Cabe recalcar que el portafolio óptimo debe estar sobre la frontera de maximización de ganancias o ahorro y en la minimización del riesgo (Alipour Sarvar, et al., 2017).

### **Definición de portafolio de proyectos.**

Dentro de la fase dos se encuentra el paso de determinar los proyectos y/o productos potenciales para posteriormente armar un portafolio, teniendo en cuenta que el término “portafolio de proyectos” consiste en un grupo de proyectos que compiten por recursos escasos y se llevan a cabo bajo el patrocinio o la gestión de una organización en particular (Jonas, 2010). Cabe recalcar que el portafolio se enfoca en la manufactura y solamente ofrece una perspectiva general de las tendencias tecnológicas de la industria 4.0.; por lo que también se hace referencia a él como: portafolio de herramientas. El portafolio se diseñó en base a una revisión literaria relacionada a la automatización y transformación digital.

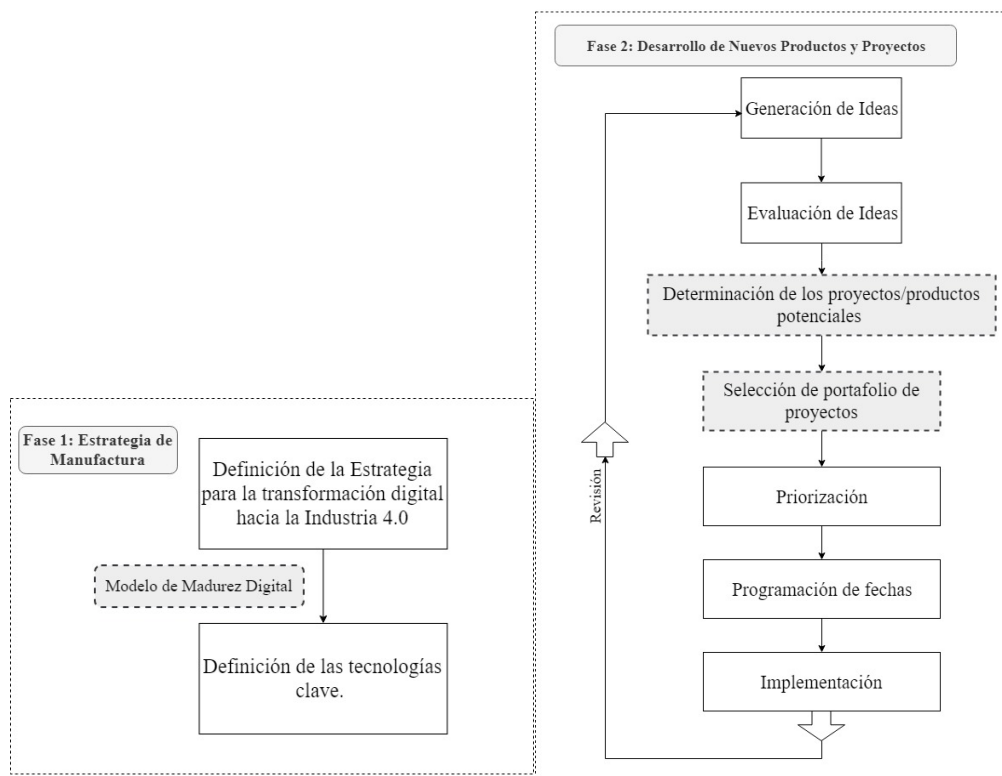


Figura 6: Hoja de ruta para la transformación hacia la industria 4.0. Fuente: Traducción y adaptación propia de "Proposed technology roadmap for Industry 4.0 Impacts" por Sarvari, P. A., Ustundag, A., Cevikcan, E., Kaya, I., & Cebi, S. (2018). *Technology Roadmap for Industry 4.0*. 95–103. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5_5)

### La pirámide de automatización.

La automatización de procesos a menudo se dibuja en pirámides de automatización con varias capas de automatización. Estas pirámides se correlacionan con la jerarquía de gestión de una empresa y muestran cómo la información se condensa cada vez más (Hollender, Harjunkoski, Horch, Zeidler, & Isaksson, 2010). En el nivel más bajo, el sistema de producción se ocupa de valores físicos, como la presión, el flujo y la temperatura, mientras que los niveles más altos se ocupan de conceptos como la calidad del producto, el programa de producción y la rentabilidad (Hollender et al., 2010).

El hecho crucial es que existen varias capas diferentes con diferentes requisitos y estas necesitan interactuar entre sí (Hollender et al., 2010). La pirámide de

automatización termina siendo un ejemplo visual de cómo la tecnología de una fábrica o industria están integradas a través de los distintos niveles.

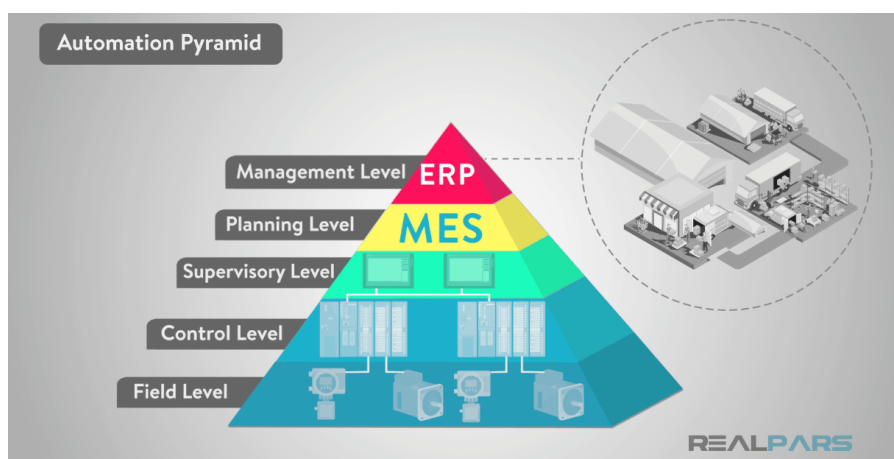


Figura 7. Pirámide de automatización. Fuente: RealPars B.V. (2018). WHAT IS THE AUTOMATION PYRAMID?. Recuperado el 23 de julio del 2019 de <https://realpars.com/automation-pyramid/#>

La pirámide de automatización	
<b>Nivel 1: Nivel de Campo</b>	Este es el nivel más bajo de automatización. Esta capa consiste en dispositivos físicos y sus funciones, las cuales pueden incluir servicios de la nube. El objetivo principal dentro de este nivel es proveer interacciones entre el cyber-espacio y el mundo físico. La aplicación de sensores y actuadores han resultado en varias soluciones de tecnología para las empresas de manufactura (RealPars, 2018).
<b>Nivel 2: Nivel de Control</b>	Aquí es donde entran en juego los PLC (Programador Lógico Controlado) y los PID (Proporcional Integral Derivada). Un PID generalmente se integra en el PLC. Eso es lo que puede mantener una variable dentro de un conjunto de parámetros. Un elemento industrial común controlado por PID es un calentador. Muchos sistemas en plantas de fabricación tienen que ser calentados. Esto se controla con un bloque PID dentro del PLC. Cuando se ingresa un punto de ajuste, el PID determinará cuándo el PLC necesita encender y apagar el calentador para mantener una temperatura constante (RealPars, 2018).
<b>Nivel 3: Nivel de Supervisión</b>	Este nivel utiliza SCADA, que es la abreviatura de control de supervisión y adquisición de datos. SCADA es esencialmente la combinación de los niveles anteriores utilizados para acceder a los sistemas de datos y control desde una única ubicación. Además, generalmente se agrega una interfaz gráfica de usuario, o un HMI (Interface de Humano-Máquina), para controlar las funciones de forma remota (RealPars, 2018).
<b>Nivel 4: Nivel de Planeación</b>	Este nivel utiliza un sistema de administración de computadoras conocido como MES o sistema de ejecución de fabricación. MES supervisa todo el proceso de fabricación en una planta o fábrica desde las materias primas hasta el producto terminado (RealPars, 2018).
<b>Nivel 5: Nivel de Gestión</b>	Este nivel utiliza el sistema de gestión integrado de las empresas, que se conoce como ERP o planificación de recursos empresariales. Aquí es donde la alta dirección de una empresa puede ver y controlar sus operaciones. ERP suele ser un conjunto de aplicaciones informáticas diferentes que pueden ver todo lo que sucede dentro de una empresa. Utiliza la tecnología de todos los niveles anteriores además de un poco más de software para lograr este nivel de integración (RealPars, 2018)

Figura 8. Descripción de Niveles de la Pirámide de Automatización

## Pirámide de Transformación Digital.

En base a la pirámide de automatización, se puede obtener una pirámide que represente la implementación de la industria 4.0 dentro de la organización. La pirámide de transformación digital consta de cuatro niveles (I-SCOOP, n.d). La figura 8 muestra la descripción de los niveles. La explicación extendida se encuentra en el anexo K.

<b>La Pirámide de Transformación Digital</b>	
<b>Nivel 1: Sensores y Actuadores</b>	Como ya se mencionó previamente, la primera capa de la pirámide de automatización está ligada a los sensores y actuadores. En un contexto de transformación digital, esta capa correspondería a los objetos y dispositivos de la organización. Dentro de este nivel también entran tecnologías y sistemas relacionadas al IoT (I-SCOOP, n.d). La primera capa consiste esencialmente en productos y componentes de fabricación y componentes que se convierten en portadores de información, ya que pueden abordarse, localizarse e identificarse a través de sensores y están conectados. En otras palabras, este nivel se enfoca en desarrollar la base de IoT (I-SCOOP, n.d).
<b>Nivel 2: Sistemas y Servicios Internos</b>	La segunda capa consiste en servicios y sistemas para administrar y organizar la cadena de valor con nuevos métodos. Por esta razón la primera capa debe servir como una base sólida de sensores y actuadores conectados que proporcionen datos útiles (I-SCOOP, n.d).  Dentro de esta capa, el objetivo principal es monitorear y administrar, teniendo en cuenta que, realizando un monitoreo constante, se buscarán formas de mejorar, comprender y desarrollar nuevas capacidades, que es lo que conduce al siguiente nivel (I-SCOOP, n.d).
<b>Nivel 3: Conectividad</b>	Esta capa incluye no solamente la conexión entre activos o dispositivos, sino también la conexión entre sistemas de monitoreo y datos. Esto permite llegar a modelos de servicio como IoT, que permiten aplicaciones más inteligentes y nuevas funciones, como el mantenimiento preventivo/predictivo, el seguimiento de activos, etc. Esto genera un cambio en el enfoque de negocios para muchas organizaciones (I-SCOOP, n.d).
<b>Nivel 4: Nuevos servicios y ecosistemas</b>	Finalmente, la cuarta capa es donde se puede aprovechar las capacidades, los servicios y los datos que la empresa ha obtenido para transformar el modelo de negocio, tomando en cuenta el contexto (I-SCOOP, n.d).  Esto puede ir desde el desarrollo de aplicaciones que permitan a los consumidores personalizar los productos que ordenan, hasta vender servicios avanzados para generar nuevas fuentes de ingresos, aprovechando los datos y sistemas inteligentes para complementar los servicios que ya se ofrecían. Dentro de este nivel también se incluyen los intercambios de datos industriales de IoT y plataformas de monetización (I-SCOOP, n.d).

*Figura 9. Descripción de los niveles de la pirámide de transformación digital*

## Herramientas para la transformación Digital

La tecnología digital avanzada ya se utiliza en la fabricación, pero con la Industria 4.0 transformará la producción. Todo esto llevará a una mayor eficiencia y cambiará las relaciones de producción tradicionales entre proveedores, productores y clientes, así como entre humanos y máquinas. Existen nueve tendencias tecnológicas forman los bloques de construcción de la Industria 4.0 (Rüßmann, et al., 2015). A

continuación, se presenta una descripción de cada herramienta; para ver una descripción más detallada, ver anexo L.

Tendencias Tecnológicas de la Industria 4.0		
1	<b>Robots Autónomos</b>	Los robots juegan un papel importante en la industria manufacturera moderna. El número de robots industriales multipropósito desarrollados por jugadores de la Industria 4.0 solo en Europa casi se ha duplicado desde 2004. Un aspecto esencial dentro de la Industria 4.0 son los métodos de producción autónomos impulsados por robots que pueden completar tareas de manera inteligente, con enfoque en la seguridad, flexibilidad, versatilidad y colaboración (Othman, 2016).
2	<b>Simulación</b>	En una simulación se puede incluir máquinas, productos y humanos, reduciendo así los tiempos de configuración de la máquina y aumentando la calidad (Vaidya, Ambad, & Bhosle, 2018). Esto también permite a los operadores probar y optimizar la configuración de las máquinas virtualmente, antes de hacer en el mundo real, reduciendo así los tiempos de configuración e incluso fallas (Rüßmann, et al., 2015). La calidad de la toma de decisiones puede mejorarse de manera fácil y rápida con la ayuda de simulaciones (Vaidya et al., 2018).
3	<b>Integración vertical y horizontal de sistemas</b>	La integración horizontal se refiere a la integración entre un recurso y una red de información dentro de la cadena de valor, con el fin de lograr la cooperación fluida entre las empresas y proporcionar un producto y servicio en tiempo real. Por otro lado, la integración vertical se refiere a los sistemas de fabricación en red dentro de las fábricas inteligentes del futuro y la fabricación personalizada como alternativas a los procesos de producción fijos tradicionales, por ejemplo, la producción en línea de montaje (Zhou, Liu, & Zhou, 2016).
4	<b>El Internet de las cosas (IoT)</b>	Gracias a IoT, los objetos físicos se integran perfectamente en la red de información donde pueden convertirse en participantes activos en los procesos comerciales y comunicar información sobre su: estado, entorno, procesos de producción, programa de mantenimiento, etc (Shrouf, Ordieres, & Miragliotta, 2014).
5	<b>Seguridad cibernética</b>	Con el aumento de la conectividad y el uso de protocolos de comunicaciones estándar que vienen con la Industria 4.0, la necesidad de proteger los sistemas industriales críticos y las líneas de fabricación de las amenazas de seguridad cibernética aumenta dramáticamente. Como resultado, las comunicaciones seguras y confiables, así como la gestión sofisticada de identidad y acceso de máquinas y usuarios son esenciales (Vaidya et al., 2018). Dentro de los contextos de la Industria 4.0, la ciberseguridad desempeña un papel de liderazgo en la prevención de la pérdida de competitividad de las empresas. De hecho, los equipos industriales críticos son hoy vulnerables a una serie de ataques cibernéticos, que pueden afectar a todo el modelo de negocio.
6	<b>La nube (The Cloud)</b>	Las tecnologías en la nube se pueden utilizar ampliamente en la Industria 4.0 para aumentar el intercambio de datos a través de los límites de la empresa, mejorar el rendimiento del sistema (como una mayor agilidad y flexibilidad) y reducir los costos al poner los sistemas en línea (Liu & Xu, 2017). El objetivo principal de la computación en la nube es proporcionar servicios de computación bajo demanda con alta confiabilidad, escalabilidad y disponibilidad en un entorno distribuido (Thames & Schaefer, 2016).
7	<b>Manufactura Aditiva</b>	Las empresas están adoptando la fabricación aditiva, como la impresión 3D para crear prototipos y producir componentes individuales. Dentro de la industria 4.0, estos métodos de fabricación aditiva se utilizarán ampliamente para producir lotes pequeños de productos personalizados que ofrecen ventajas de construcción, como diseños complejos y livianos (Rüßmann, et al., 2015).

8	<b>Realidad Aumentada</b>	La Realidad Aumentada (AR), y específicamente la Realidad Aumentada Industrial (IAR), es una de las tecnologías que proporcionan herramientas poderosas que apoyan a los operadores que realizan tareas, ayudándoles en tareas de ensamblaje, asistencia contextual, visualización e interacción de datos (actuando como una interfaz hombre-máquina (HMI), localización en interiores, aplicaciones de mantenimiento, control de calidad o gestión de materiales (Fraga- Lamas, 2018). La combinación de los últimos avances en electrónica, sensores, redes y robótica, junto con paradigmas como IoT, permite el desarrollo de aplicaciones avanzadas para sistemas industriales, eficiencia energética, domótica, agricultura de precisión, aplicaciones de IoT de alta seguridad, transporte o para defensa y seguridad pública (Fraga- Lamas, 2018).
9	<b>Big Data y Analítica</b>	El análisis basado en grandes conjuntos de datos ha surgido recientemente en el mundo de la fabricación, donde optimiza la calidad de la producción, ahorra energía y mejora el servicio del equipo. En un contexto de Industria 4.0, la recopilación y evaluación integral de datos de muchas fuentes diferentes (equipos y sistemas de producción, así como sistemas de gestión de empresas y clientes) se convertirá en estándar para apoyar la toma de decisiones en tiempo real (Rüßmann, et al., 2015).

Figura 10. Tendencias de herramientas tecnológicas para la industria 4.0. Fuente: Elaboración Propia.

## Portafolio de Herramientas

En base a la revisión literaria realizada, se diseñó un portafolio de herramientas considerando el nivel de madurez digital, y las pirámides de automatización y transformación digital.

Tabla 5. Equivalencia entre los distintos niveles de madurez digital con la pirámide de automatización y transformación digital.

Nivel de Madurez Digital	Pirámide de Automatización	Pirámide de Transformación Digital
Pre-Infantil	Nivel de Campo	Nivel 1: sensores y actuadores – conectando lo que debería estar conectado
Infantil	Nivel de Control	
Explorador	Nivel de Supervisión	Nivel 2: sistemas y servicios internos – monitoreo y gestión
Adulto	Nivel de Planeación	Nivel 3: conectividad – nuevas aplicaciones y capacidades
Líder	Nivel de Gestión	Nivel 4: Nuevos servicios y ecosistemas – transformación

Fuente: Elaboración Propia.

Cada herramienta fue asignada considerando el nivel de complejidad de cada nivel y la prioridad competitiva que aborda (Ver Anexo F).



Tabla 6. Portafolio de herramientas para la transformación digital.

Seguridad Cibernética

	Costo	Calidad	Tiempo	Flexibilidad	Innovación	Global	Pirámide de Automatización	Pirámide de Transformación Digital
<b>Pre-Infantil</b>	Integración vertical y horizontal. Cloud, IoT.						Nivel de Campo	Nivel 1: sensores y actuadores – conectando lo que debería estar conectado
<b>Infantil</b>	Integración vertical y horizontal. Cloud, IoT.						Nivel de Control	
<b>Explorador</b>	Fabricación Aditiva	Simulación	Fabricación Aditiva	Robots	IoT, Fabricación Aditiva	IoT, Seguridad Cibernética	Nivel de Supervisión	Nivel 2: sistemas y servicios internos – monitoreo y gestión
<b>Adulto</b>	Fabricación Aditiva, Simulación	Simulación, Realidad Aumentada	Simulación, Fabricación Aditiva, Robots	Robots, Realidad Aumentada	IoT, Fabricación Aditiva	IoT, Simulación, Seguridad Cibernética	Nivel de Planeación	Nivel 3: conectividad – nuevas aplicaciones y capacidades
<b>Líder</b>	Fabricación Aditiva, Simulación, Robots, Big Data	Simulación, Realidad Aumentada, Big Data	Simulación, Fabricación Aditiva, Robots, Realidad Aumentada, Big Data	Robots, Realidad Virtual, Big Data	IoT, Fabricación Aditiva, Realidad Aumentada, Big Data	IoT, Seguridad Cibernética, Big Data	Nivel de Gestión	Nivel 4: Nuevos servicios y ecosistemas – transformación

Fuente: Elaboración Propia.

## Descripción de Portafolio de Herramientas

La seguridad cibernética engloba a todo el portafolio, ya que la presión para automatizar y digitalizar es particularmente fuerte en la fabricación y el uso de dispositivos IOT. Estos dispositivos generalmente se fabrican y se obtienen por el costo en lugar de la seguridad y pueden proporcionar nuevos vectores de ataque (Hannigan, 2019). Rara vez pasa una semana sin que se escuche que ha existido algún tipo de ataque cibernético en alguna parte del mundo, los cuales normalmente involucran violaciones de datos, pérdidas de datos o interrupciones del servicio (The manufacturers organisation, 2018). Todas las empresas deberían comprender más que nunca que un ciberataque en su organización no es una cuestión de posibilidad, sino de certeza; se debe pensar cuándo, por quién y en qué medida se realizaría un ataque. Aunque la mayoría de las grandes empresas han fortalecido sus capacidades de seguridad cibernética a la luz de los eventos recientes, la investigación realizada por El Instituto Real de Servicios Unidos (RUSI), indicó que el grado de madurez de la seguridad

cibernética es muy variado entre los fabricantes, y algunos manufactureros solo están al comienzo de su viaje de seguridad cibernética (eef, 2018).

Las contramedidas de seguridad ayudan a garantizar la confidencialidad, disponibilidad e integridad de los sistemas de información al prevenir o mitigar las pérdidas de activos por ataques de Ciberseguridad, por lo que es importante tomarlas en cuenta durante la implementación de nueva tecnología (Rees,et al., 2011).

Cada nivel de madurez implica ciertas características que las organizaciones poseen en base a las respuestas proporcionadas en la encuesta. En la figura 10, se muestra la descripción para los dos primeros niveles; en el anexo M se encuentra una descripción más extensa y detallada para cada nivel.






Niveles de Madurez Digital	
<b>Pre-Infantil</b>	<p>Dentro de este nivel se encuentran las empresas con un puntaje de desempeño muy bajo en casi todas las prioridades competitivas, así como palancas de fabricación. No se posee una estrategia visible, y el sistema en general suele ser bastante caótico (Vivares, 2017). Con respecto a la tecnología, las empresas dentro de este nivel tienen sistemas limitados y no integrados. La tecnología no es priorizada y las operaciones son bastante manuales. El manejo de información es ineficiente y no existe un liderazgo identificable con respecto a la digitalización (MIlosevic, 2019).</p> <p>Este nivel está relacionado con el nivel de campo según la pirámide de automatización, es decir, está enfocado al nivel físico, donde se necesitan sensores y actuadores para captar información del proceso (RealPars, 2018). Así mismo, este nivel está relacionado con el nivel uno de la pirámide de transformación digital, que básicamente se preocupa de crear conexiones y componentes de captura de información dentro de los procesos. Sabiendo esto, se determinaron tres herramientas o procedimientos, para la transformación digital: integración vertical y horizontal, Cloud y IoT (I-SCOOP, n.d).</p>
<b>Infantil</b>	<p>Dentro de este nivel se encuentran las empresas con un puntaje de desempeño bajo en las prioridades competitivas, así como palancas de fabricación. No se identifica una ventaja competitiva dominante y se tiene una débil planificación estratégica (Vivares, 2017). Con respecto a la tecnología, la organización posee sistemas anticuados que no compiten con las nuevas tendencias. La organización solamente se enfoca en mantener los sistemas y no en el crecimiento y desarrollo. Muchos de los sistemas no están inter conectados o son poco amigables con el usuario (MIlosevic, 2019).</p> <p>Este nivel está relacionado con el nivel de control según la pirámide de automatización, es decir, está enfocado en reaccionar frente a algún estímulo físico, no obstante, suele ser bastante simple y sin integración a sistemas adicionales de captura de información (RealPars, 2018). De igual manera, este nivel está relacionado con el nivel uno de la pirámide de transformación digital, es decir, sigue centrado en establecer conexiones y componentes de captura de información dentro de los procesos (I-SCOOP, n.d). Sabiendo esto, se determinaron tres herramientas o procedimientos, para la transformación digital: integración vertical y horizontal, Cloud y IoT .</p>

*Figura 11. Descripción de cada Nivel de Madurez Digital*

## RESULTADOS

### Tasa de Respuesta

Como se planteó al inicio, la encuesta se envió a las direcciones de correo electrónico de la base de datos proporcionada por la empresa COGNITIVA. La base de datos consiste en información de personas pertenecientes a empresas de manufactura ecuatorianas, de distintas industrias, específicamente: textil, alimentos, química, metal y otros. En total, el mail se envió a 1496 personas. Rebotaron 248 direcciones de correo, por lo que solamente 1248 personas recibieron el mail. Se obtuvo una tasa de apertura del 26,4%, es decir 329 personas abrieron el mensaje enviado. En la figura 10 se muestra la tasa de respuesta por ubicación. A pesar de ser una base de datos con empresas ecuatorianas, se obtuvieron aperturas fuera del área de estudio.

	Ecuador	222	54.4%
	USA	176	43.1%
	Colombia	5	1.2%
	Spain	2	0.5%
	Belgium	1	0.2%

*Figura 12. Ubicación y tasa de respuesta de las encuestas enviadas en la primera campaña*

A pesar de haber llegado a un considerable número de empresas, no se obtuvieron respuestas, ya que se observó que la tasa de clicks en los links proporcionados para responder la encuesta, fueron solamente de 2,4%. En vista de esto, se realizó una segunda campaña más personalizada, pero de igual manera no se obtuvieron resultados muy distintos. Se realizó una campaña enfocada al sector manufacturero de Guayaquil, donde se logró enviar el correo a 73 empresas, sin embargo, la tasa de apertura solamente fue de 11,1% y no hubo respuestas. Se envió el mismo correo al sector químico, metal, madera, y alimentos (Ver Anexo N). Se obtuvo mayor tasa de clicks, no obstante, solamente se consiguieron dos respuestas del sector de alimentos.

En vista de que el correo electrónico no cumplió con las expectativas, se procedió a enviar mensajes y realizar llamadas individuales a las empresas que habían realizado proyectos con Cognitiva o se encontraban en proceso de realizarlos. Con este método se lograron obtener un total de 37 respuestas de 25 empresas diferentes.

## Resultados Demográficos

El mapa muestra las provincias que participaron, junto con el número de respuestas totales obtenidas de cada una. Se observa que Pichincha posee el mayor número de respuestas.

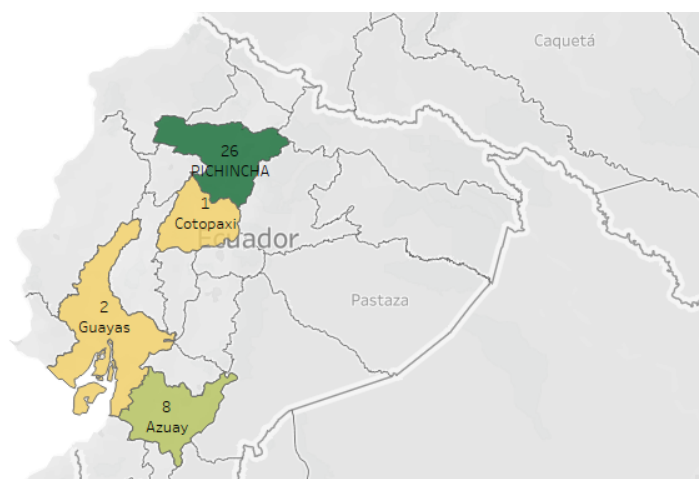


Figura 13. Ubicación geográfica de respuestas. Fuente: Elaboración propia.

### Tamaño de Empresas Encuestadas

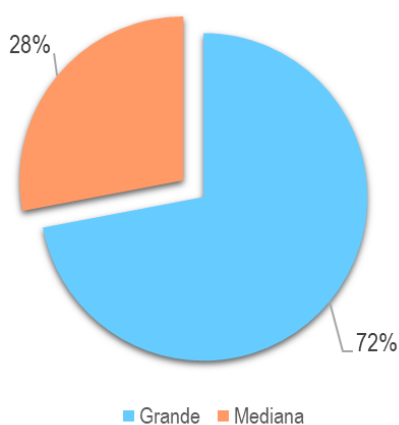


Figura 14. Proporción de empresas encuestadas según tamaño. Fuente: Elaboración Propia

Las empresas que han participado hasta el momento consisten en 18 empresas grandes y 7 empresas medianas.

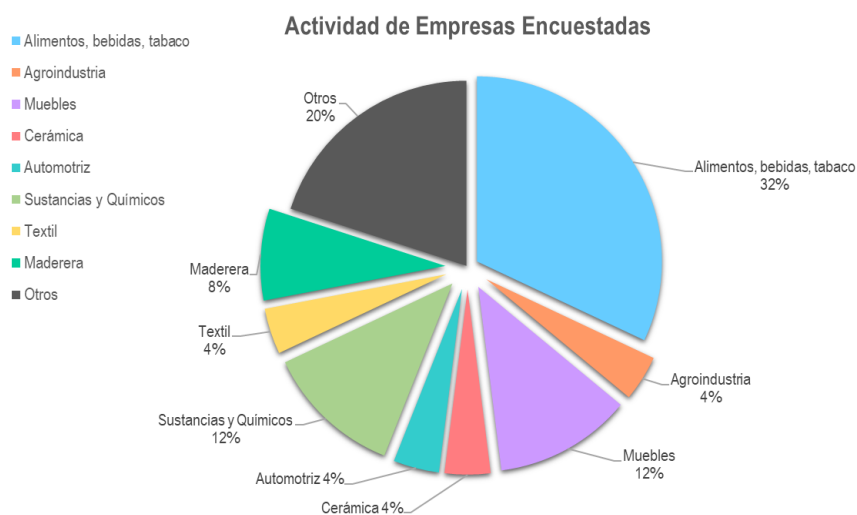


Figura 15. Actividad de empresas encuestadas. Fuente: Elaboración propia

La figura 15 muestra los sectores a los que las 25 empresas del estudio pertenecen.

## Estadística Descriptiva

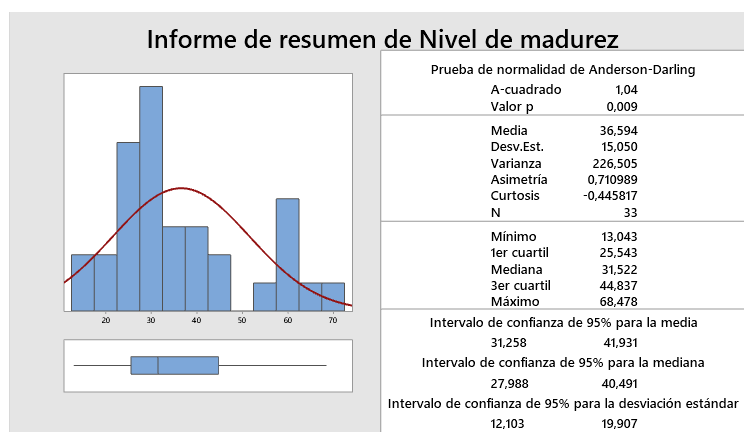


Figura 16. Resumen de resultados obtenidos de las encuestas. Fuente: Elaboración propia

Se usó el software Minitab para obtener un resumen de los puntajes de madurez digital. Con todos los datos obtenidos se tiene una distribución normal según la prueba Anderson Darling, con una media de 36,5 puntos de nivel de madurez (Anexo O).

En la figura 17 se puede apreciar el nivel de madurez por empresa. Cada empresa fue asignada un código numérico para ser identificada y proteger la información respectiva. Al momento de entregar los informes, la empresa es informada acerca del código que le ha sido proporcionado. De esta forma, cada empresa puede conocer sus resultados y compararse con las demás, mientras la información permanece confidencial.

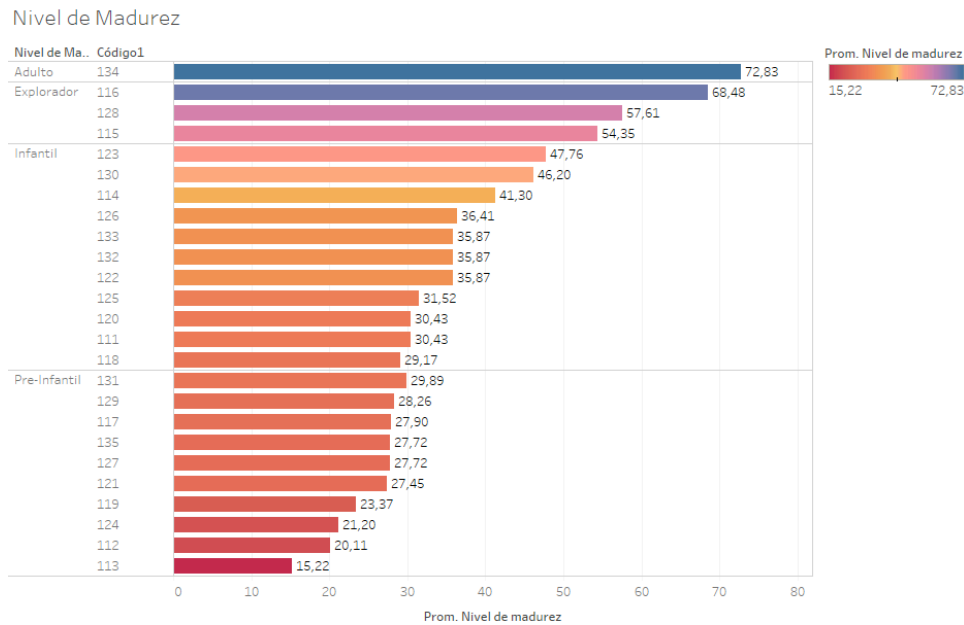
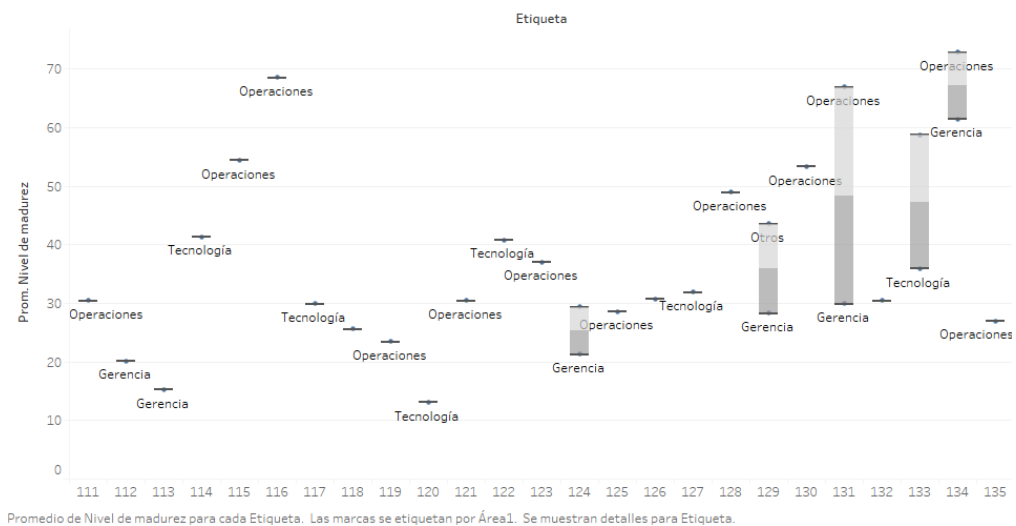


Figura 17. Nivel de Madurez de las empresas encuestadas. Fuente: Elaboración Propia

Debido a que, en algunos casos, varias personas de una misma empresa respondieron la encuesta, se pudo capturar distintas perspectivas de diversas áreas. En la figura 18 se muestra un promedio de las respuestas obtenidas según el área de la empresa. Se observa que en el caso de la empresa 123, respondieron personas de las áreas de: gerencia, operaciones y otros. Esta última hace referencia a otras áreas de la empresa como finanzas o recursos humanos, las cuales se consideran un poco más distantes a los roles relacionados con la gestión de producción y tecnología. La empresa 123 muestra una dispersión de las respuestas según el área que va desde 40 hasta 60 aproximadamente.



Promedio de Nivel de madurez para cada Etiqueta. Las marcas se etiquetan por Área1. Se muestran detalles para Etiqueta.

Figura 18. Gráfico de dispersión del promedio de madurez digital según área de la empresa

También se realizaron gráficos de cada sección de la encuesta: prioridades competitivas, palancas de fabricación y estrategia.

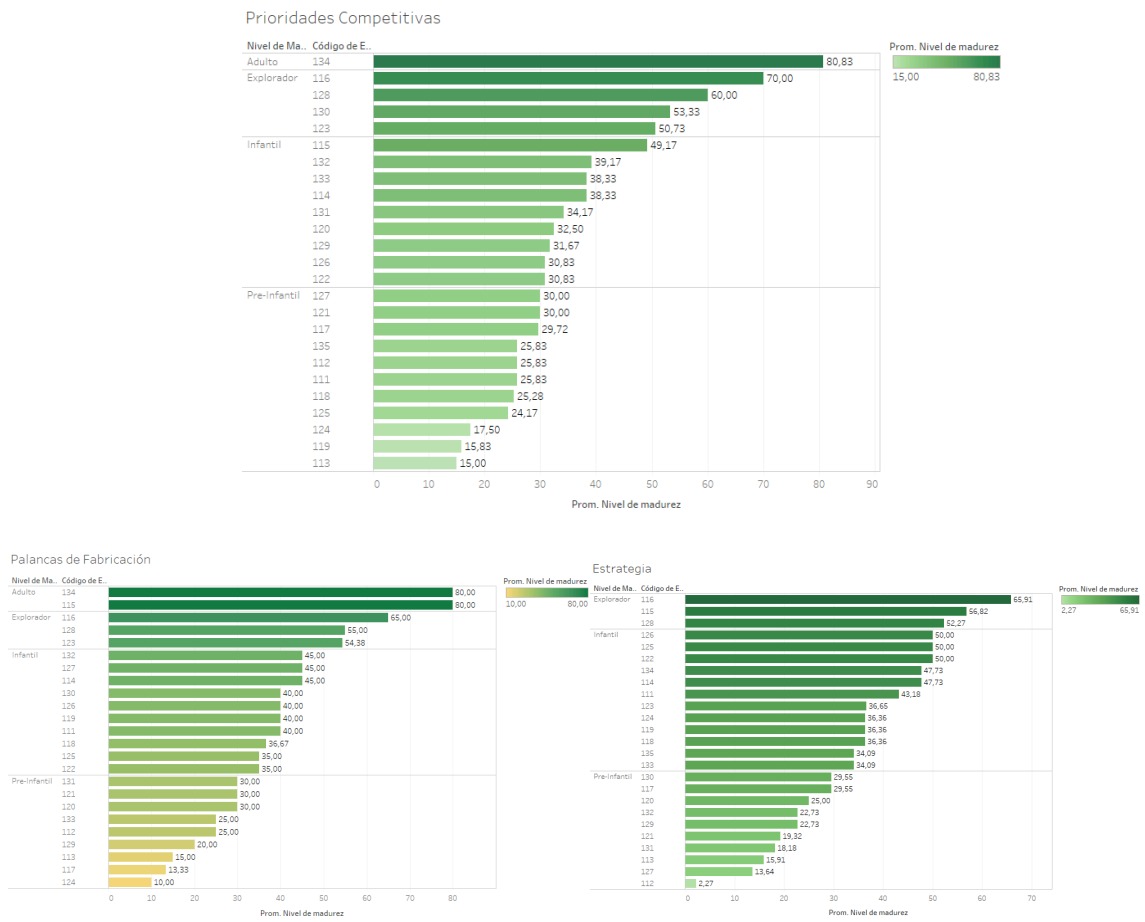


Figura 19. Madurez Digital de las prioridades competitivas, palancas de fabricación y estrategia. Fuente: Elaboración Propia

Los gráficos individuales de cada prioridad competitiva se encuentran en el Anexo O.

## CONCLUSIONES

El presente trabajo cumplió con los objetivos planteados inicialmente. Se utilizó un modelo de madurez digital para caracterizar a las empresas de manufactura en el Ecuador con respecto a su nivel de madurez digital. También se diseñó un portafolio de herramientas en base a una revisión literaria profunda, que permitió asignar las herramientas, consideradas como tendencia en la industria 4.0, a las empresas que participaron según su prioridad competitiva. Se obtuvo la participación de un total de 25 empresas con 37 respuestas de distintas áreas: operaciones, tecnología, gerencia y otros. Hasta la fecha se ha encontrado que la mayoría de las empresas se encuentran en los

niveles de madurez pre-infantil e infantil, sin embargo, también hay empresas que se encuentran en el nivel de explorador y adulto.

Para poder inferir sobre la madurez digital en el Ecuador, se necesita completar el tamaño de muestra calculado inicialmente, es decir, 234 empresas en total. Durante la realización de esta investigación se atravesaron varias limitaciones que impidieron capturar ese número. Se envió un correo masivo a una base de datos, proporcionada por la empresa COGNITIVA, de más de 1000 empresas, estas resultaron no ser de manufactura en su totalidad, por lo que a pesar de que existieron empresas interesadas (según el número de aperturas del correo electrónico y número de clicks), no pudieron participar en el estudio por ser de otro sector económico. También cabe recalcar que la seguridad informática es más estricta hoy en día, por lo que es probable que, al haber utilizado una plataforma para enviar correos electrónicos masivos, estos hayan sido catalogados como “no deseados” y las empresas no lo hayan visto.

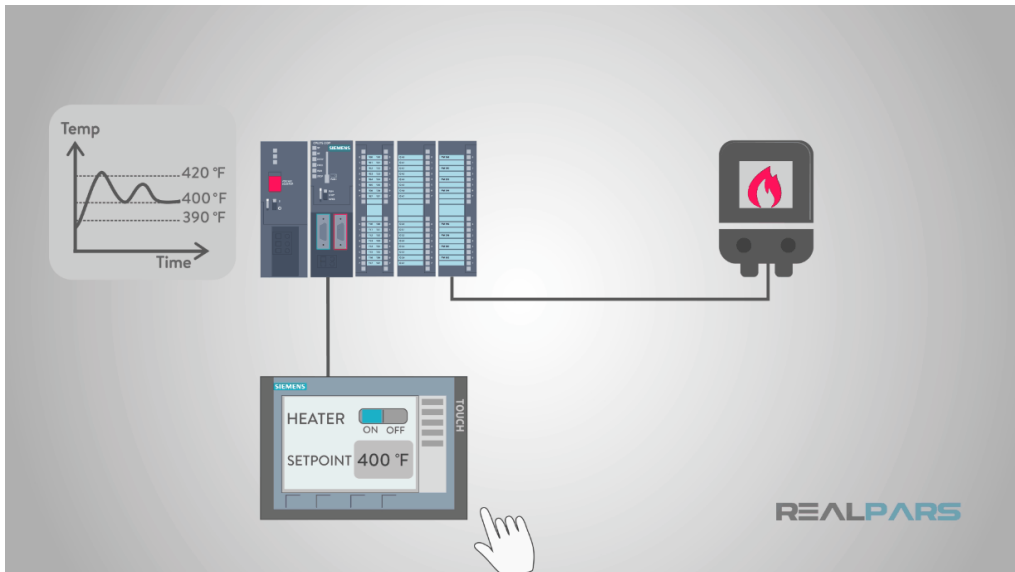
Se programaron varias reuniones para promocionar el estudio y capturar más respuestas, no obstante, fue difícil coordinar una fecha con las distintas Cámaras de Empresas del Ecuador. Adicionalmente, en el mes de octubre ocurrieron conflictos en el país debido a la eliminación del subsidio a la gasolina, por lo que se generaron manifestaciones que se tornaron violentas e impidieron a las personas transportarse y trabajar de manera regular durante 11 días. Todas las reuniones agendadas para promover el estudio se cancelaron y aplazaron considerablemente. Después de que terminara este suceso, las empresas de manufactura ya habían perdido millones de dólares y sus prioridades se dirigieron hacia sus operaciones, lo que hizo que sea más difícil retomar la captura de datos.

Se recomienda que a pesar de que este trabajo de titulación haya finalizado, la toma de datos continúe para tener una perspectiva más amplia del nivel de tecnología en el sector manufacturero ecuatoriano. Además, mientras más respuestas se obtengan, más empresas podrán beneficiarse de los resultados y así incrementar la conciencia acerca de la importancia de la transformación digital.



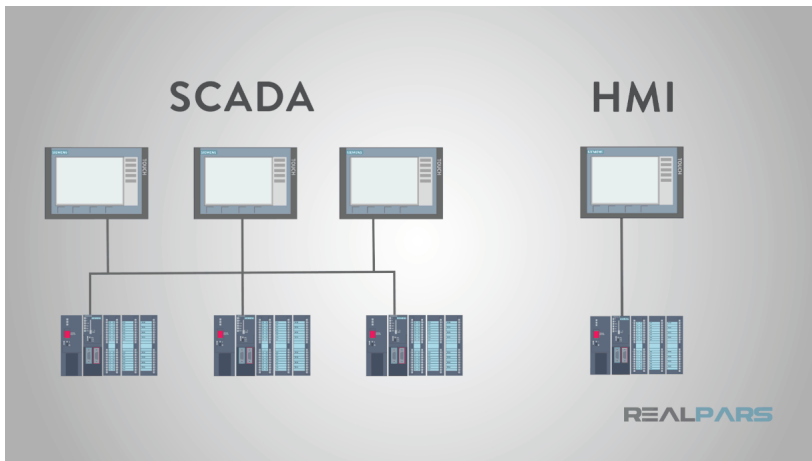
## Anexo A: Niveles de Pirámide de Automatización

### Nivel 2 de Pirámide de Automatización

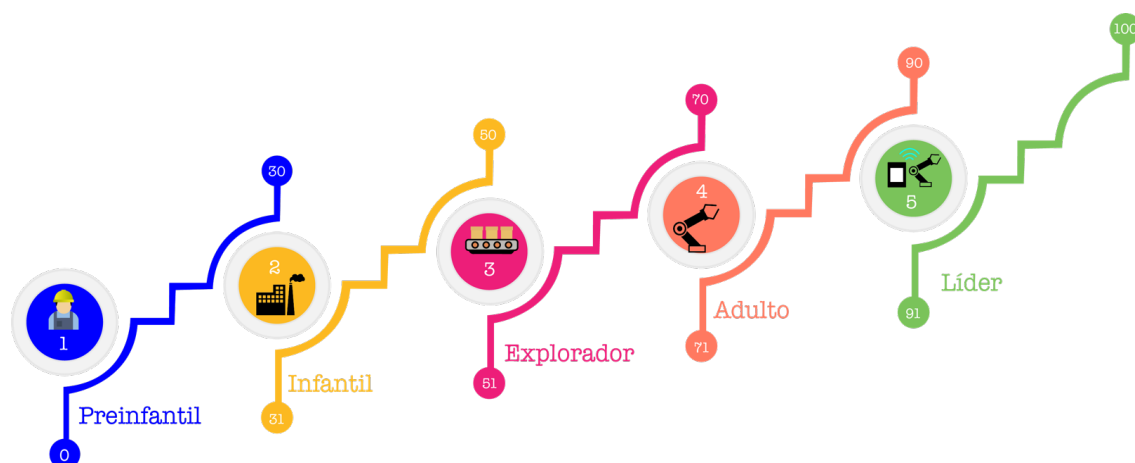


Fuente: RealPars, 2018

### Nivel 3 de Pirámide de Automatización



Fuente: RealPars, 2018



## Anexo B. Niveles de madurez Digital.

*Fuente: Haro, 2019*

## Anexo C: Dimensiones para la valoración de niveles de madurez digital

Aspectos Principales	Prioridad	Dimensión	Item	Referencias
Prioridades Competitivas	Costo	Producción	Reducción de costos	(Viváres, 2017).
		Desperdicios	Reducción de desperdicio	(Basco, et. al., 2018).
	Calidad	Calidad del producto	Trazabilidad del producto a los largo de la producción	(Viváres, 2017).
		Calidad del proceso	Modelación y simulación del sistema de manufactura	(Vadde et. al., 2004 )
			Mantenimiento	(Cortés et.al 2017) (Vadde et. al., 2004 )
		Recopilación de la información	(Lee, Kao & Yang, 2014).	
	Tiempo	Velocidad de entrega de producto terminado	Reducción de paros en las máquinas y equipos	(Viváres, 2017).
	Flexibilidad	Rediseño o cambio de los productos	Implementación de nuevas tecnologías para el desarrollo de nuevos productos o rediseño de	(Viváres, 2017). (Basco, et. al., 2018).
Cambio en la producción		Variación en la producción en cuanto a productos (En la industria 4.0 la producción no se enfoca en un solo producto o tamaño de lote)	(Vadde et. al., 2004 ) (Basco, et. al., 2018).	
Innovación	Enfoque del negocio	Modelo de negocio enfocado a la reducción del impacto ambiental	(Lee, Kao & Yang, 2014).	
Global	Manejo de la información recopilada (Big data )	Existencia de una plataforma de recopilación y análisis de datos	(Lee, Kao & Yang, 2014).	
Palancas de fabricación	Recursos humanos	Talento del personal	Conocimientos del personal con relación a la digitalización y la industria 4.0	(Viváres, 2017). (Basco, et. al., 2018).
		Interacción del personal	Transmisión de Procesos, planes, información y reportes	(Vadde et. al., 2004 ) (Basco, et. al., 2018).
	Comunicación	Acceso a recursos informáticos	Computación en la nube	(Basco, et. al., 2018).
		Interacción de los sistemas	Comunicación las maquinas, equipos, herramientas, productos y personas para el uso correcto de una planta	(Cortés et.al 2017) (Basco, et. al., 2018).
Estrategias de Manufactura	Mejora continua	Plan de mejora continua en cuanto a digitalización	Conocimiento	(Viváres, 2017).
			Inversión	(Viváres, 2017).

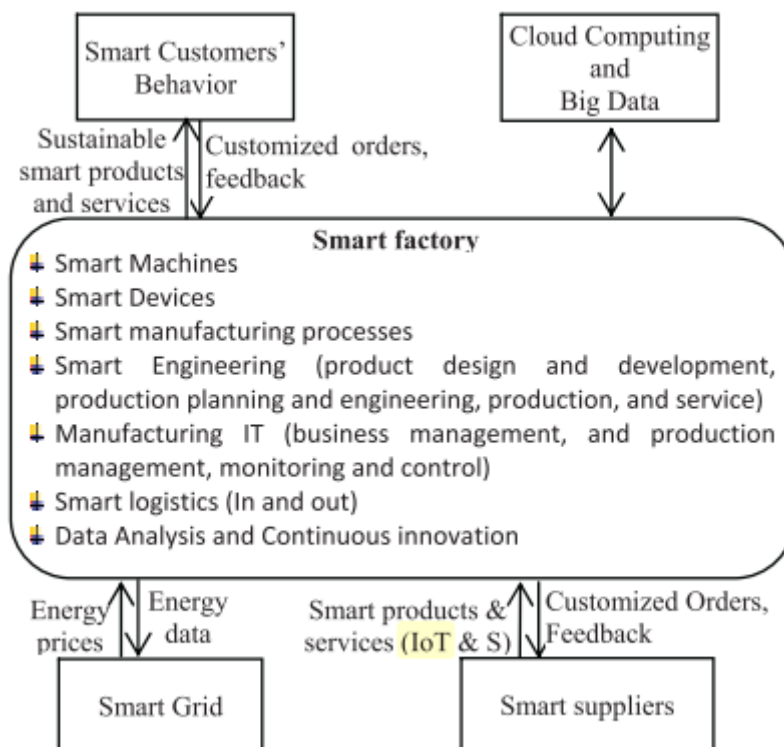
Fuente: Haro, 2019

## Anexo D: Elementos a medir para cada dimensión

Item	Elementos a medir
Reducción de costos	Capacidad para alcanzar costos bajos tanto fijos como variables en comparación con la competencia, a nivel de operaciones de manufactura
Reducción de desperdicio	Capacidad para minimizar el desperdicio del sistema de producción, eliminando actividades sin valor y haciendo eficiente el uso de recursos y materiales
Trazabilidad del producto a lo largo de la producción	Capacidad para dar seguimiento a los productos a través del proceso de producción, con el fin de detectar fallas, registrarlas y corregirlas
Modelación y simulación del sistema de manufactura	Capacidad para digitalizar la operación de manufactura
	Capacidad para representar la operación de manufactura de manera virtual
	Capacidad para reportar los datos de la operación de manufactura tiempo real
Mantenimiento	Monitoreo de las variables críticas de la operación de máquinas a nivel de manufactura, a través de sensores parametrizados con alertas en función de rangos de tolerancia
	Capacidad de analizar los datos obtenidos para la toma de decisiones, a nivel de operación de máquina en el aspecto de manufactura
	Capacidad de incorporación de algoritmos predictivos para la operación de máquinas, a nivel de manufactura
Recopilación de la información	Capacidad de capturar información permanentemente y en tiempo real del flujo, unidades que se procesan, operación de máquinas, aspectos de calidad, trazabilidad y costos, a nivel de la operación de manufactura
Reducción de paros en las máquinas y equipos	Capacidad para analizar la información recopilada y realizar un pronóstico de daños, para mantenimientos preventivos en recursos involucrados en el proceso de manufactura
Implementación de nuevas tecnologías para el desarrollo de nuevos productos o rediseño de productos existentes	Existencia de de sistemas CAD/CAM y manufactura aditiva para el diseño de productos, a través de prototipos
Variación en la producción en cuanto a productos (En la industria 4.0 la producción no se enfoca en un solo producto o tamaño de lote)	Capacidad de las máquinas para adaptarse a cambios de manera automática (grado de automatización de las máquinas)
Modelo de negocio enfocado a la reducción del impacto ambiental	Capacidad para cuantificar la generación de huella de carbono, a nivel de operaciones de manufactura
	Capacidad para cuantificar la eficiencia energética, a nivel de planta de manufactura
	Capacidad para cuantificar el consumo hídrico, a nivel de planta de manufactura
Existencia de una plataforma de recopilación y análisis de datos	Capacidad de visualizar y analizar los datos de la operación de manufactura de manera descriptiva
	Capacidad de visualizar y analizar los datos de la operación de manufactura de manera predictiva
	Capacidad de visualizar y analizar los datos de la operación de manufactura de manera prescriptiva y prospectiva
Conocimientos del personal con relación a la digitalización y la industria 4.0	Nivel de competencias, habilidades y aptitudes del personal entorno a las tecnologías digitales y de industria 4.0, a nivel del sistema de producción
Transmisión de Procesos, planes, información y reportes	Capacidad del personal de operaciones de manufactura para comunicarse de manera rápida y eficiente, a través del uso de herramientas tecnológicas
Computación en la nube	Capacidad de las empresas para acceder a la información requerida desde cualquier dispositivo con acceso a internet
Comunicación las maquinas, equipos, herramientas, productos y personas para el uso correcto de una planta	Existe comunicación multidireccional mediante WiFi, entre todos los recursos y personas involucradas en la empresa (oIT- Internet de las cosas).
Conocimiento	La dirección esta consciente de la necesidad de implementar tecnología para mejorar su sistema de producción
Inversión	Existe actualmente un presupuesto específico dedicado a un proyecto para algún tipo de implementación tecnológica, a nivel de planta de manufactura

Fuente: Haro, 2019

## Anexo E: Arquitectura de IOT



Máquinas inteligentes: incluyen máquinas que se comunican con otros dispositivos y humanos (Shrouf, Ordieres, & Miragliotta, 2014).

Dispositivos inteligentes: incluye dispositivos de conexión en la fábrica, como dispositivos de campo, dispositivos móviles, dispositivos operativos, etc (Shrouf et al., 2014).

Procesos de fabricación inteligentes: incluyen comunicación de procesos dinámica, eficiente, automatizada y en tiempo real para la gestión y el control de un entorno de fabricación altamente dinámico habilitado por IoT (Shrouf et al., 2014).

Ingeniería inteligente: incluye diseño y desarrollo de productos, ingeniería de productos, producción y servicio postventa. Esto podría requerir el uso de datos recopilados del proceso de fabricación en el proceso de planificación y optimizar las máquinas (mecánicas, eléctricas, etc.) (Shrouf et al., 2014).

Fabricación de TI: incluye primero, las aplicaciones de software utilizadas por una o más empresas que admiten redes de valor; segundo, monitoreo y control inteligente a través de sensores, medidores inteligentes y dispositivos móviles inteligentes; tercera gestión inteligente de producción, que integra datos de IoT en la lógica de gestión de producción (Shrouf et al., 2014).

Logística inteligente: incluye herramientas y procesos de logística inteligente. La logística auto organizada es un ejemplo de logística interna inteligente que reacciona a cambios inesperados en la producción, como cuellos de botella y escasez de materiales (Shrouf et al., 2014).

Big Data y los datos de computación en la nube: incluyen algoritmos, aplicaciones de análisis, etc. El análisis de Big Data brindará profundas oportunidades para mejorar futuras fábricas, procesos de fabricación y permitirá que la fábrica proporcione nuevos productos (Shrouf et al., 2014).

Proveedores inteligentes: incluir la construcción sostenible de relaciones con proveedores. Por ejemplo, al aumentar el intercambio de información en tiempo real; de manera similar, aumente la flexibilidad seleccionando el mejor proveedor según las necesidades de la fábrica (Shrouf et al., 2014).

Smart Grid: incluye las infraestructuras inteligentes de fábrica inteligente en el campo del suministro de energía. Es decir, para reaccionar a los cambios en los precios de la energía según la demanda (Shrouf et al., 2014).

## Anexo F: Revisión literaria para determinar las herramientas según la prioridad competitiva

Herramientas de Industria 4.0	Prioridad Competitiva	Referencias
Robots Autónomos	Flexibilidad, Costo, Tiempo	(Rüßmann, 2015) (Othman, 2016)
Simulación	Calidad, Tiempo, Costo, Global	(Rüßmann, 2015) (Vaidya, Ambad & Bhosle, 2018)
Integridad Vertical y Horizontal	Todas	(Vaidya, Ambad & Bhosle, 2018) (Zhou, Liu, & Zhou, 2016)
Internet de las cosas (IoT)	Todas	(Shrouf, Ordieres & Miragliotta, 2014) (Vaidya, Ambad & Bhosle, 2018)
Seguridad Cibernética	Todas	(Vaidya, Ambad & Bhosle, 2018) (Lezzi, Lazoi & Corallo, 2018) (Huxtable & Schaefer, 2016)
Cloud	Todas	(Thames & Schaefer, 2016) (Liu & Xu, 2017)
Manufactura Aditiva	Costo, Tiempo, Innovación	(Kang, et al., 2016) (Rüßmann, 2015) (Huang, et al., 2012)
Realidad Aumentada	Calidad, Tiempo, Flexibilidad, Innovación	(Fraga-Lamas, 2018) (Paelke, 2014)
Big Data	Todas	(Rüßmann, 2015) (Zhou, Liu, & Zhou, 2016) (Lee, et al., 2014)

Fuente: Elaboración Propia

## Anexo G: Ecuación de normalización

$$y = y_a + (x - x_a) \frac{(y_b - y_a)}{(x_b - x_a)}$$

Fuente: Vivares, J. (2017). Modelo de madurez para valorar el sistema de producción y formular una estrategia de manufactura (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Colombia,

**Donde**

$y$  = Valor normalizado

$y_a$  = Valor máximo utilizado para la normalización

$y_b$  = Valor mínimo utilizado para la normalización

$x_b$  = Valor máximo de suma de respuestas en la encuesta

$x_a$  = Valor mínimo de suma de respuestas en la encuesta

$x$  = Puntaje obtenido en la encuesta

## Anexo H: Correo electrónico enviado en la primera campaña para recolectar respuestas

# C GNITIVA



¿Cómo participar en el Estudio?.

Para participar simplemente tienes que responder una encuesta que se encuentra en nuestra página web, la cual evaluará tres aspectos de tu empresa.

Visita nuestra página web para mayor información:

<https://www.ecuadordigital.net/>





## Anexo I: Correo electrónico enviado en la segunda campaña para recolectar respuestas

Estimado/a

Reciba un cordial saludo por parte de Cognitiva (<https://www.cogcs.com>) y la Universidad San Francisco de Quito.

El motivo de la presente es invitarle a participar en una investigación desarrollada como trabajo de titulación, sobre el estado de madurez digital de las empresas de manufactura ecuatorianas.



El propósito de este estudio es conocer el nivel de madurez digital de las **empresas de manufactura** ecuatorianas mediante una encuesta que ha sido desarrollada en base a una investigación exhaustiva.

La encuesta mide tres aspectos principales, los cuales contienen distintas variables que han sido seleccionadas minuciosamente de diversos estudios publicados alrededor del mundo. Adicionalmente, con los resultados obtenidos se espera obtener una medición del estado de madurez digital en el sector de manufactura del Ecuador, así como capturar las distintas percepciones desde el ámbito operacional y tecnológico.

A las empresas que participen se les entregará un informe individual acerca de sus resultados, así como recomendaciones. Las recomendaciones, de igual manera, han sido creadas a partir de una revisión literaria profunda y se espera que sirvan de guía para que las empresas puedan seguir avanzando dentro de la transformación digital.

Esperamos contar con su colaboración.

Para conocer más acerca de este estudio y sobre cómo participar, visite nuestra página web: <https://www.ecuadordigital.net/>





## **Anexo J: Explicación extendida de los niveles de la pirámide de automatización**

### Nivel 1: Sensores y Actuadores

Como ya se mencionó previamente, la primera capa de la pirámide de automatización está ligada a los sensores y actuadores. En un contexto de transformación digital, esta capa correspondería a los objetos y dispositivos de la organización. Dentro de este nivel también entran tecnologías y sistemas relacionadas al IoT (I-SCOOP, n.d). La primera capa consiste esencialmente en productos y componentes de fabricación y componentes que se convierten en portadores de información, ya que pueden abordarse, localizarse e identificarse a través de sensores y están conectados. En otras palabras, este nivel se enfoca en desarrollar la base de IoT. Para esto es importante conectar los dispositivos que necesitan estar conectados, con el fin de detectar lo que necesita ser detectado. Se deben establecer las relaciones pertinentes entre lo digital y lo físico y de esta forma establecer las bases para los siguientes niveles (I-SCOOP, n.d).

### Nivel 2: Sistemas y Servicios Internos

La segunda capa consiste en servicios y sistemas para administrar y organizar la cadena de valor con nuevos métodos. Por esta razón la primera capa debe servir como una base sólida de sensores y actuadores conectados que proporcionen datos útiles (I-SCOOP, n.d).

En este nivel se encuentran las aplicaciones como el monitoreo de energía, monitoreo y administración de sistemas, y el estado de los activos de la organización, es decir:

máquinas, edificios, infraestructura, etc. Dentro de esta capa, el objetivo principal es monitorear y administrar, teniendo en cuenta que, realizando un monitoreo constante, se buscarán formas de mejorar, comprender y desarrollar nuevas capacidades, que es lo que conduce al siguiente nivel (I-SCOOP, n.d).

### Nivel 3: Conectividad

Esta capa incluye no solamente la conexión entre activos o dispositivos, sino también la conexión entre sistemas de monitoreo y datos. Esto permite llegar a modelos de servicio como IoT, que permiten aplicaciones más inteligentes y nuevas funciones, como el mantenimiento preventivo/predictivo, el seguimiento de activos, etc. Esto genera un cambio en el enfoque de negocios para muchas organizaciones (I-SCOOP, n.d).

Inicialmente, el mantenimiento, el seguimiento y otras aplicaciones a menudo se centran en las operaciones internas, sin embargo, algunas pueden convertirse en fuentes de ingresos adicionales. Un ejemplo más concreto es cuando el mantenimiento se implementa y ofrece en un contexto de ecosistema del cliente, es decir, la empresa ofrece contratos de mantenimiento que podrían generar nuevos ingresos o ser ofrecidos como parte del servicio cuando se vende un equipo. Esto genera menores costos y tiempo para la empresa (servicio y soporte) y para sus clientes (menos tiempo de inactividad) (I-SCOOP, n.d).

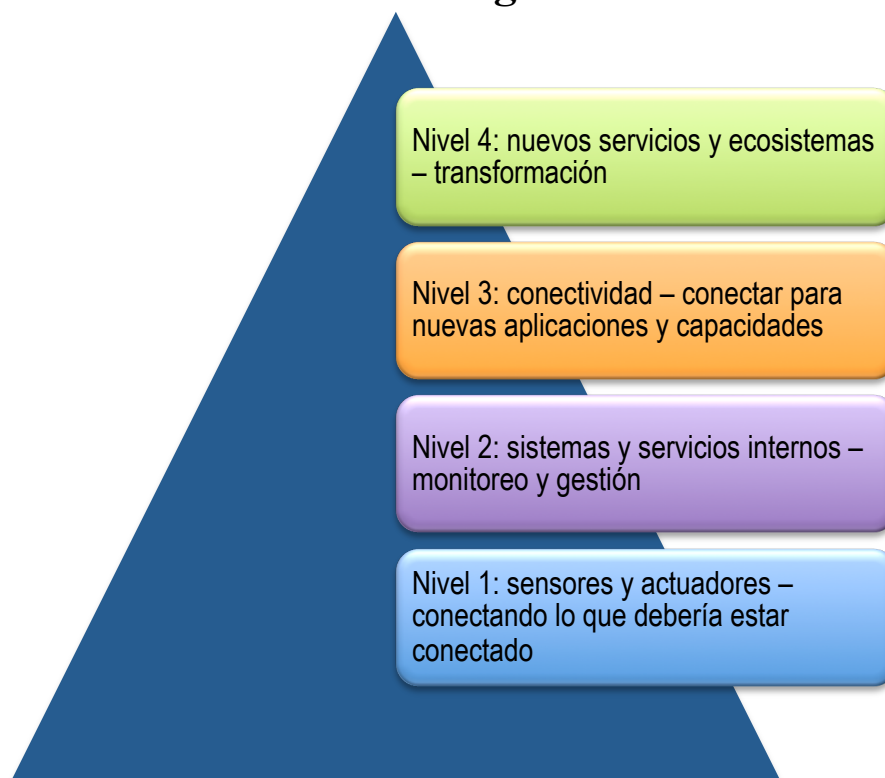
### Nivel 4: Nuevos servicios y ecosistemas

Finalmente, la cuarta capa es donde se puede aprovechar las capacidades, los servicios y los datos que la empresa ha obtenido para transformar el modelo de negocio, tomando en cuenta el contexto.

Esto puede ir desde el desarrollo de aplicaciones que permitan a los consumidores personalizar los productos que ordenan, hasta vender servicios avanzados para generar nuevas fuentes de ingresos, aprovechando los datos y sistemas inteligentes para complementar los servicios que ya se ofrecían.

Dentro de este nivel también se incluyen los intercambios de datos industriales de IoT y plataformas de monetización. En esta etapa no es tanto la tecnología que limita lo que se puede hacer sino la visión e imaginación de la organización (I-SCOOP, n.d).

## Anexo K: Explicación extendida de los niveles de la pirámide de transformación digital



*Figura 20. Pirámide de transformación digital. Fuente: I-SCOOP. (n.d). Industry 4.0: the fourth industrial revolution – guide to Industrie 4.0. Recuperado el 23 de julio del 2019 de <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/>*

### Nivel 1: Nivel de Campo

Este es el nivel más bajo de automatización. Esta capa consiste en dispositivos físicos y sus funciones, las cuales pueden incluir servicios de la nube. El objetivo

principal dentro de este nivel es proveer interacciones entre el cyber-espacio y el mundo físico. La aplicación de sensores y actuadores han resultado en varias soluciones de tecnología para las empresas de manufactura.

El nivel de campo es el piso de producción que realiza el trabajo físico y el monitoreo. Los motores eléctricos, los actuadores hidráulicos y neumáticos para mover maquinaria, los interruptores de proximidad utilizados para detectar ese movimiento o ciertos materiales, los interruptores fotoeléctricos que detectan cosas similares jugarán un papel importante en el nivel de campo (RealPars, 2018).

#### Nivel 2: Nivel de Control

Aquí es donde entran en juego los PLC (Programador Lógico Controlado) y los PID (Proporcional Integral Derivada). Un PID generalmente se integra en el PLC. Eso es lo que puede mantener una variable dentro de un conjunto de parámetros. Un elemento industrial común controlado por PID es un calentador. Muchos sistemas en plantas de fabricación tienen que ser calentados. Esto se controla con un bloque PID dentro del PLC. Cuando se ingresa un punto de ajuste, el PID determinará cuándo el PLC necesita encender y apagar el calentador para mantener una temperatura constante (RealPars, 2018).

#### Nivel 3: Nivel de Supervisión

Este nivel utiliza SCADA, que es la abreviatura de control de supervisión y adquisición de datos. SCADA es esencialmente la combinación de los niveles anteriores utilizados para acceder a los sistemas de datos y control desde una única ubicación. Además, generalmente se agrega una interfaz gráfica de usuario, o un HMI (Interface de Humano-Máquina), para controlar las funciones de forma remota. Las plantas de agua a menudo emplean esta tecnología para controlar las bombas de agua remotas en sus sistemas. Lo importante de esta herramienta es que permite controlar múltiples sistemas

desde un solo lugar y no se limita a una sola máquina, como ocurre con el sistema HMI (RealPars, 2018).

#### Nivel 4: Nivel de Planeación

Este nivel utiliza un sistema de administración de computadoras conocido como MES o sistema de ejecución de fabricación. MES supervisa todo el proceso de fabricación en una planta o fábrica desde las materias primas hasta el producto terminado (RealPars, 2018).

Esto permite que la administración vea exactamente lo que está sucediendo y les permite tomar decisiones basadas en esa información. Pueden ajustar los pedidos de materia prima o los planes de envío en función de los datos reales recibidos de los sistemas ya mencionados (RealPars, 2018).

#### Nivel 5: Nivel de Gestión

Este nivel utiliza el sistema de gestión integrado de las empresas, que se conoce como ERP o planificación de recursos empresariales. Aquí es donde la alta dirección de una empresa puede ver y controlar sus operaciones. ERP suele ser un conjunto de aplicaciones informáticas diferentes que pueden ver todo lo que sucede dentro de una empresa. Utiliza la tecnología de todos los niveles anteriores además de un poco más de software para lograr este nivel de integración (**RealPars, 2018**). Esto permite que el negocio pueda monitorear todos los niveles del negocio, desde la fabricación, las ventas, las compras, las finanzas y la nómina, y muchos otros. La integración del ERP promueve la eficiencia y la transparencia dentro de una empresa al mantener a todos en la misma página (RealPars, 2018).

## **Anexo L: Explicación extendida de las tendencias tecnológicas de la industria 4.0**

### **1. Robots Autónomos**

Los robots se están volviendo más autónomos, flexibles y cooperativos, y con el tiempo podrán interactuar entre sí y trabajar lado a lado con los humanos y aprender de ellos (Rüßmann, et al., 2015) . Los robots juegan un papel importante en la industria manufacturera moderna. El número de robots industriales multipropósito desarrollados por jugadores de la Industria 4.0 solo en Europa casi se ha duplicado desde 2004. Un aspecto esencial dentro de la Industria 4.0 son los métodos de producción autónomos impulsados por robots que pueden completar tareas de manera inteligente, con enfoque en la seguridad, flexibilidad, versatilidad y colaboración (Othman, 2016).

### **2. Simulación**

Actualmente, las simulaciones ya se usan en la fase de ingeniería, es decir, para hacer simulaciones en tercera dimensión de productos, materiales y procesos de producción (Rüßmann et al., 2015). Sin embargo, eventualmente las simulaciones se utilizarán más ampliamente en las operaciones de la planta para aprovechar los datos en tiempo real, esto con el fin de reflejar el mundo físico en un modelo virtual. En una simulación se puede incluir máquinas, productos y humanos, reduciendo así los tiempos de configuración de la máquina y aumentando la calidad (Vaidya, Ambad, & Bhosle, 2018). Esto también permite a los operadores probar y optimizar la configuración de las máquinas virtualmente, antes de hacer en el mundo real, reduciendo así los tiempos de configuración e incluso fallas (Rüßmann, et al., 2015). La calidad de la toma de decisiones puede mejorarse de manera fácil y rápida con la ayuda de simulaciones (Vaidya et al., 2018).

### **3. Integración vertical y horizontal de sistemas**

La mayoría de los sistemas informáticos actuales no están completamente integrados. Las empresas, proveedores y clientes rara vez están estrechamente vinculados. Tampoco lo son departamentos como ingeniería, producción y servicio. Las funciones desde la empresa hasta el nivel del taller no están completamente integradas. Incluso la ingeniería en sí misma, desde productos hasta plantas y automatización, carece de una integración completa. Pero con Industry 4.0, las compañías, departamentos, funciones y capacidades se volverán mucho más coherentes, a medida que las redes universales de integración de datos entre compañías evolucionen y permitan cadenas de valor verdaderamente automatizadas (Vaidya et al., 2018). La integración horizontal se refiere a la integración entre un recurso y una red de información dentro de la cadena de valor, con el fin de lograr la cooperación fluida entre las empresas y proporcionar un producto y servicio en tiempo real. Por otro lado, la integración vertical se refiere a los sistemas de fabricación en red dentro de las fábricas inteligentes del futuro y la fabricación personalizada como alternativas a los procesos de producción fijos tradicionales, por ejemplo, la producción en línea de montaje (Zhou, Liu, & Zhou, 2016).

### **4. El Internet de las cosas (IoT)**

La idea básica de IoT es un sistema donde los elementos físicos se enriquecen con dispositivos electrónicos integrados (etiquetas RFID, sensores, etc.) y se conectan a Internet. Entonces, IoT se basa tanto en objetos inteligentes como en redes inteligentes. Gracias a IoT, los objetos físicos se integran perfectamente en la red de información donde pueden convertirse en participantes activos en los procesos comerciales y comunicar información sobre su: estado, entorno, procesos de producción, programa de mantenimiento, etc (Shrouf et al., 2014). Las tres características clave de IoT son: el contexto, la omnipresencia y la optimización. El contexto se refiere a la posibilidad de

interacción avanzada de objetos con un entorno existente y la respuesta inmediata si algo cambia. La omnipresencia proporciona información de la ubicación, las condiciones físicas o atmosféricas de un objeto, y la optimización ilustra los hechos de que los objetos actuales son más que una simple conexión a la red de operadores humanos en la interfaz hombre-máquina. La cadena de valor debe ser inteligente, ágil y en red mediante la integración de objetos físicos, factores humanos, máquinas inteligentes, sensores inteligentes, procesos de producción y líneas de producción juntas a través de los límites de la organización. El software y los datos son elementos clave para la planificación inteligente y el control de máquinas y fábricas del futuro (Vaidya et al., 2018).

El Anexo 5, muestra la arquitectura a tener en cuenta para una fábrica inteligente basada en IoT en la industria 4.0.

### **5. Seguridad cibernética**

Con el aumento de la conectividad y el uso de protocolos de comunicaciones estándar que vienen con la Industria 4.0, la necesidad de proteger los sistemas industriales críticos y las líneas de fabricación de las amenazas de seguridad cibernética aumenta dramáticamente. Como resultado, las comunicaciones seguras y confiables, así como la gestión sofisticada de identidad y acceso de máquinas y usuarios son esenciales (Vaidya et al., 2018). Dentro de los contextos de la Industria 4.0, la ciberseguridad desempeña un papel de liderazgo en la prevención de la pérdida de competitividad de las empresas. De hecho, los equipos industriales críticos son hoy vulnerables a una serie de ataques cibernéticos, que pueden afectar a todo el modelo de negocio. Según los informes anuales de ciberseguridad de Cisco del 2018, el 31% de las organizaciones han experimentado ciberataques a la tecnología operativa (OT); mientras que el 38% espera que los ataques extiendan la tecnología de la información a la tecnología operativa.



Aunque la seguridad cibernética es percibida como una prioridad por el 75% de los expertos, solo el 16% dice que su compañía está bien preparada para enfrentar los desafíos de seguridad cibernética (Lezzi, et al., 2018).

Centrándose en la industria manufacturera Huxtable & Schaefer (2016), sugieren que una empresa debe ofrecer soporte a sus dispositivos conectados, en particular en los campos de:

- Consultoría de ciberseguridad para brindar asesoramiento y orientación con respecto a la estrategia de ciberseguridad al más alto nivel;
- Gestión de riesgos para prevenir ciberataques;
- Monitoreo y detección de amenazas para proporcionar software y hardware que permitan monitorear y detectar las amenazas cibernéticas;
- Respuesta a incidentes cibernéticos para limitar el daño y evitar más ataques cibernéticos;
- Entrenamiento para limitar la probabilidad de que ocurran ataques;
- Paquetes de ciberseguridad en relación con los productos que se venden (las suscripciones básicas pueden incluir un software antimalware como servicio, ofreciendo, por ejemplo, monitoreo, detección y capacitación).

En general, cualquier enfoque de seguridad debe prestar atención a niveles de red, transporte y aplicación. En particular, el enfoque a nivel de red tiene como objetivo proporcionar una conexión segura y confiable; nivel de transporte quiere garantizar que nadie pueda leer e incluso autenticar a ambos lados; finalmente, el objetivo del nivel de aplicación es garantizar la seguridad de la información transmitida incluso si no hay cifrado en el nivel de transporte (Lezzi, et al., 2018).

## **6. La nube (The Cloud)**

Las tecnologías en la nube se pueden utilizar ampliamente en la Industria 4.0 para aumentar el intercambio de datos a través de los límites de la empresa, mejorar el rendimiento del sistema (como una mayor agilidad y flexibilidad) y reducir los costos al poner los sistemas en línea (Liu & Xu, 2017). El objetivo principal de la computación en la nube es proporcionar servicios de computación bajo demanda con alta confiabilidad, escalabilidad y disponibilidad en un entorno distribuido. La fabricación basada en la nube (Cloud Based Manufacturing - CBM) es otro paradigma creciente que contribuirá significativamente al éxito de la Industria 4.0. CBM puede describirse como un modelo de fabricación en red que explota el acceso según la demanda, a una colección compartida de recursos de fabricación diversificados y distribuidos para formar líneas de producción ciber-físicas temporales y reconfigurables que mejoren la eficiencia, reduzcan los costos del ciclo de vida del producto y responda a una asignación óptima de recursos en base a la demanda de los clientes (Thames & Schaefer, 2016).

## **7. Manufactura Aditiva**

La fabricación aditiva (AM) es una forma de convertir un modelo 3D, como un archivo CAD, en un objeto físico mediante la unión o unión de materiales a través de luz, vibración ultrasónica, láser y haz de electrones. Tiene diferentes características, de acuerdo con los materiales o los métodos de unión. La fabricación aditiva comenzó como una tecnología de creación rápida de prototipos que convertía las ideas de los ingenieros en prototipos en la década de 1980, y ahora se está utilizando no solo para la creación de prototipos, sino también para fabricar productos completos, gracias a los avances en materiales y tecnología de laminación (Kang, et al., 2016).

Las empresas están adoptando la fabricación aditiva, como la impresión 3D para crear prototipos y producir componentes individuales. Dentro de la industria 4.0, estos métodos de fabricación aditiva se utilizarán ampliamente para producir lotes pequeños de productos personalizados que ofrecen ventajas de construcción, como diseños complejos y livianos (Rüßmann, et al., 2015).

Existe la expectativa de que la tecnología de fabricación aditiva puede revolucionar la industria manufacturera y proporcionar diversos beneficios a la sociedad en general, como: Productos de salud personalizados a las necesidades de los consumidores individuales, que se espera que mejoren significativamente el bienestar de la población; uso reducido de materias primas y consumo de energía, que es una contribución clave para la sostenibilidad ambiental; fabricación bajo demanda, que presenta una oportunidad para reconfigurar la cadena de suministro de fabricación para llevar productos más baratos a los consumidores más rápido mientras se utilizan menos recursos (Huang, et al., 2012).

Los sistemas de fabricación aditiva descentralizados de alto rendimiento reducirán las distancias de transporte y el stock disponible.

Por ejemplo, las compañías aeroespaciales ya están utilizando la fabricación aditiva para aplicar nuevos diseños que reducen el peso de la aeronave, reduciendo sus gastos en materias primas como el titanio (Rüßmann, 2015).

## **8. Realidad Aumentada**

La realidad aumentada (AR) se refiere a la integración de información adicional generada por computadora en un entorno del mundo real. La mayoría de las aplicaciones AR actuales integran gráficos por computadora en la vista del usuario de su entorno actual. Las aplicaciones AR tienen un alto potencial para mejorar la experiencia

del usuario en las aplicaciones en las que las personas deben acceder e interactuar con información que tiene una relación espacial directa con su entorno inmediato. El uso de la realidad aumentada en aplicaciones de productividad, como: planificación espacial o sistemas de navegación, ya están comenzando a ser más comunes (Paelke, 2014).

La Realidad Aumentada (AR), y específicamente la Realidad Aumentada Industrial (IAR), es una de las tecnologías que proporcionan herramientas poderosas que apoyan a los operadores que realizan tareas, ayudándoles en tareas de ensamblaje, asistencia contextual, visualización e interacción de datos (actuando como una interfaz hombre-máquina (HMI), localización en interiores, aplicaciones de mantenimiento, control de calidad o gestión de materiales (Fraga-Lamas, 2018). La combinación de los últimos avances en electrónica, sensores, redes y robótica, junto con paradigmas como IoT, permite el desarrollo de aplicaciones avanzadas para sistemas industriales, eficiencia energética, domótica, agricultura de precisión, aplicaciones de IoT de alta seguridad, transporte o para defensa y seguridad pública (Fraga-Lamas, 2018).

Entre las tecnologías habilitadoras, IAR ha demostrado ser una herramienta adecuada para las estrategias de fabricación propuestas por diferentes países (por ejemplo, Industria 4.0, Internet industrial de las cosas, fábricas inteligentes), permitiendo a los trabajadores colaborar entre ellos, interactuar con información en tiempo real y para monitorear y controlar sistemas. Dentro de la manufactura, la realidad aumentada puede ser utilizada en aspectos como: aseguramiento de la calidad, instrucciones para mantenimiento, monitoreo de desempeño e instrucciones de ensamblaje. Las comunicaciones aumentadas también se pueden utilizar para la visualización colaborativa en procesos de ingeniería durante las etapas relacionadas con el diseño o la fabricación (Fraga-Lamas, 2018).

Asimismo, IAR es útil para ayudar a los trabajadores en la toma de decisiones en escenarios reales, combinando la experiencia física junto con la visualización de información extraída en tiempo real de las bases de datos. Los operadores bien entrenados también son esenciales para las fábricas productivas. IAR puede ayudar durante el proceso de capacitación al dar instrucciones paso a paso para desarrollar tareas específicas (Fraga-Lamas, 2018). Esto es especialmente útil cuando se capacita a los trabajadores para operar maquinaria como la utilizada para el ensamblaje en secuencia, lo que reduce el tiempo y el esfuerzo dedicado a verificar los manuales. Por lo tanto, IAR puede reducir el tiempo de capacitación para los nuevos empleados y disminuir los requisitos de habilidades para los nuevos empleados. Además, es posible ajustar las instrucciones a la experiencia del trabajador, lo que acelera el proceso de aprendizaje al enfocarse más en adquirir habilidades (Fraga-Lamas, 2018).

## **9. Big Data y Analítica**

En el entorno empresarial competitivo de hoy, las empresas enfrentan desafíos para lidiar con los problemas de Big Data de la toma rápida de decisiones para mejorar la productividad. Muchos sistemas de fabricación no están listos para administrar big data debido a la falta de herramientas analíticas inteligentes. A medida que se integra más software e inteligencia integrada en productos y sistemas industriales, las tecnologías predictivas pueden entrelazar aún más los algoritmos inteligentes con la electrónica y la inteligencia sin ataduras. Estas tecnologías se utilizarán para predecir la degradación del rendimiento del producto y gestionar y optimizar de forma autónoma las necesidades del producto (Lee, et al., 2014).

El análisis basado en grandes conjuntos de datos ha surgido recientemente en el mundo de la fabricación, donde optimiza la calidad de la producción, ahorra energía y mejora el servicio del equipo. En un contexto de Industria 4.0, la recopilación y evaluación

integral de datos de muchas fuentes diferentes (equipos y sistemas de producción, así como sistemas de gestión de empresas y clientes) se convertirá en estándar para apoyar la toma de decisiones en tiempo real (Rüßmann, et al., 2015). A medida que se desarrolla la personalización masiva y la colaboración en red, las empresas de fabricación también deberán aceptar los datos personalizados de muchos consumidores de la Web en tiempo real. La tecnología Big Data está utilizando nuevos modos de procesamiento para obtener información valiosa rápidamente de varios tipos de datos, con el fin de lograr una comprensión profunda, obtener información y hacer descubrimientos para una toma de decisiones precisa. En la industria futura, se integrarán datos de sensores y sistemas de información empresarial. Durante este proceso, se cargarán grandes volúmenes de datos en un centro de datos de computación en la nube para almacenar, analizar y tomar decisiones, lo que guiará el proceso de producción. El análisis de big data traerá una gama de beneficios a las empresas manufactureras, como la optimización de procesos, la reducción de costos y la mejora de la eficiencia operativa (Zhou et al., 2016).

## **Anexo M: Explicación extendida de los niveles de Madurez Digital según el portafolio de herramientas**

### **PRE-INFANTIL**

Dentro de este nivel se encuentran las empresas con un puntaje de desempeño muy bajo en casi todas las prioridades competitivas, así como palancas de fabricación. No se posee una estrategia visible, y el sistema en general suele ser bastante caótico (Vivares, 2017). Con respecto a la tecnología, las empresas dentro de este nivel tienen sistemas limitados y no integrados. La tecnología no es priorizada y las operaciones son

bastante manuales. El manejo de información es ineficiente y no existe un liderazgo identificable con respecto a la digitalización (Milosevic, 2019).

Este nivel está relacionado con el nivel de campo según la pirámide de automatización, es decir, está enfocado al nivel físico, donde se necesitan sensores y actuadores para captar información del proceso (RealPars, 2018). Así mismo, este nivel está relacionado con el nivel uno de la pirámide de transformación digital, que básicamente se preocupa de crear conexiones y componentes de captura de información dentro de los procesos. Sabiendo esto, se determinaron tres herramientas o procedimientos, para la transformación digital: integración vertical y horizontal, Cloud y IoT (I-SCOOP, n.d).

El avance tecnológico en los sistemas de producción requiere que las corporaciones con procesos operativos ágiles y gestión eficiente de la información, creen una sinergia organizacional y brinden ventajas competitivas dentro del sistema de producción y la cadena de valor (Pérez-Lara, et al., 2018).

La integración de sistemas es el primer paso hacia una visión de la Industria 4.0 y el logro de sus objetivos. Los sistemas se analizan en su conjunto, considerando el flujo productivo. Se proponen cambios estructurales en la organización y gestión de objetos físicos, y el establecimiento de conexiones con sistemas de información. El flujo vertical se refiere al desarrollo y ejecución de actividades de la empresa, incluidos elementos básicos como: la estructura organizativa, el factor humano, las relaciones con los departamentos, el nivel tecnológico y de gestión. De manera complementaria, el flujo horizontal incluye relaciones externas, establece la integración de redes de proveedores y clientes, sistemas de información y gestión y otros (Pérez-Lara, et al., 2018).

Por otro lado, las tecnologías de Cloud y IoT están estrechamente relacionadas, por lo que se las ha colocado juntas; varias ventajas mutuas derivadas de su integración se han identificado en la literatura y se prevén en el futuro. La nube puede ofrecer una solución efectiva para implementar la gestión y composición de servicios de IoT, así como aplicaciones que aprovechen los datos producidos por ellas. Por otro lado, la nube puede beneficiarse de IoT al ampliar su alcance para manejar cosas dentro del mundo real de una manera más distribuida y dinámica, además de ofrecer nuevos servicios (Botta, et al., 2014).

IoT simplemente no se limita a las funciones de conectividad de sistemas, recopilación de datos, almacenamiento y análisis solo. Ayuda a modernizar las operaciones conectando los dispositivos heredados e inteligentes, las máquinas a Internet y reduciendo las barreras entre los equipos, generando así una vista unificada de los sistemas y los datos (Bhardwaj, 2018) , por lo que tiene la capacidad de evolucionar y adaptarse a niveles superiores de madurez digital. Con la computación en la nube, las organizaciones no tienen que implementar hardware extenso, configurar y administrar redes e infraestructura en implementaciones de IoT (Bhardwaj, 2018).

La computación en la nube también permite a las empresas ampliar la infraestructura, según sus necesidades, sin configurar un hardware e infraestructura adicionales (Bhardwaj, 2018), por esta razón se la coloca en el nivel de madurez más bajo, ya que se la considera como una herramienta básica y puede ser fácilmente adaptada e incrementar su capacidad posteriormente.

## INFANTIL

Dentro de este nivel se encuentran las empresas con un puntaje de desempeño bajo en las prioridades competitivas, así como palancas de fabricación. No se identifica una ventaja competitiva dominante y se tiene una débil planificación estratégica



(Vivares, 2017). Con respecto a la tecnología, la organización posee sistemas anticuados que no compiten con las nuevas tendencias. La organización solamente se enfoca en mantener los sistemas y no en el crecimiento y desarrollo. Muchos de los sistemas no están inter conectados o son poco amigables con el usuario (Milosevic, 2019).

Este nivel está relacionado con el nivel de control según la pirámide de automatización, es decir, está enfocado en reaccionar frente a algún estímulo físico, no obstante, suele ser bastante simple y sin integración a sistemas adicionales de captura de información (RealPars, 2018). De igual manera, este nivel está relacionado con el nivel uno de la pirámide de transformación digital, es decir, sigue centrado en establecer conexiones y componentes de captura de información dentro de los procesos (I-SCOOP, n.d). Sabiendo esto, se determinaron tres herramientas o procedimientos, para la transformación digital: integración vertical y horizontal, Cloud y IoT .

La única diferencia clave entre el nivel infantil y pre-infantil reside en la automatización, es decir, el nivel infantil está más enfocado ya no solamente en la implementación de componentes de captura de datos, sino en el desarrollo de sistemas lógicos que puedan reaccionar frente a la información que reciba.

Los dispositivos conectados a IoT brindan a los fabricantes y a sus consumidores una visión integral de la logística y el análisis de los equipos, lo que les permite tener un control total sobre su maquinaria. Con la información proporcionada del IoT y almacenada en la nube, se puede generar aplicaciones con programadores lógicos para tener un mejor control del espacio físico, es decir, con los datos identificados, las organizaciones pueden generar un control automático e integrar de manera más eficiente la información relacionada al proceso o al producto (Tao et al., 2014).

## EXPLORADOR

Dentro de este nivel se tiene un puntaje medio, lo que indica que la empresa desempeña en sus prioridades competitivas de manera suficiente para sobrevivir dentro de su mercado actual. Sus palancas de fabricación se consideran promedio en comparación con la misma industria y se percibe una visión estratégica leve (Vivares, 2017). Con respecto a la tecnología, los sistemas se consideran estables y permiten una operación adecuada. La organización comprende la importancia de la digitalización y desea aprender más. Se tiene un manejo más claro de la información, así como su integración y análisis (Milosevic, 2019).

Este nivel está relacionado con el nivel de supervisión según la pirámide de automatización, es decir, está enfocado en el análisis de los datos recopilados para tomar decisiones en base a esa información y controlar uno o varios sistemas desde un solo lugar (RealPars, 2018). De igual manera, este nivel está relacionado con el nivel dos de la pirámide de transformación digital, es decir, se enfoca en el monitoreo y administración de los sistemas con el fin de comprender su comportamiento y encontrar maneras de mejorarlo (I-SCOOP, n.d).

A diferencia de los niveles previos, aquí ya se puede realizar una diferenciación entre las herramientas y las prioridades competitivas. Para este nivel, la organización ya debe tener una base lo suficientemente sólida con respecto a la integración de sistemas, cloud y IoT para poder aprovechar las tendencias de la industria 4.0.

La manufactura aditiva se encuentra dentro de costo, tiempo e innovación debido a que ha demostrado ser más económica debido a los materiales de fabricación disponibles y los métodos disponibles, lo que permite producir piezas o productos en lotes pequeños con un costo efectivo (Thomas, 2016). Esto también está vinculado con el tiempo de fabricación, ya que las máquinas no suelen necesitar largos tiempos de

preparación y se puede tener un bajo porcentaje de ocio en las máquinas (Thomas, 2016). Se ha identificado que la manufactura aditiva ha provocado innovaciones incrementales, radicales, disruptivas y revolucionarias en varias industrias. Por ejemplo, la manufactura aditiva ha innovado la manera en que se fabrican piezas y prototipos, además de permitir mayor personalización en los productos (Steenhuis & Pretorius, 2017).

La simulación es una técnica importante y útil que puede ayudar a los usuarios a comprender y modelar sistemas de la vida real. Una vez construidos, los modelos se pueden ejecutar para dar resultados realistas. Esto proporciona un valioso apoyo para tomar decisiones sobre una base más lógica y científica, lo que incrementa la calidad y productividad (Khare, n.d.).

Los robots con capacidades cada vez más sofisticadas para su uso en muchos entornos, además de moverse y navegar de forma autónoma, participar en comportamientos dirigidos por objetivos y comunicarse y proporcionar retroalimentación a supervisores humanos. Los robots permiten flexibilidad en distintos aspectos, ya que al asignarles la carga laboral, los operadores están más libres para adquirir actividades con carga mental, así mismo, los supervisores pueden aprovechar el uso de interfaces de delegación para mantener a los robots trabajando de manera óptima (Parasuraman, et al., 2005).

El riesgo cibernético se considera como el riesgo de hacer negocios en el entorno "cibernético" o virtual que comprende Internet, comunicaciones inalámbricas o computación en la nube. La supervisión efectiva del riesgo cibernético necesita un nivel importante de intercambio de información y coordinación dentro de las partes interesadas, por lo que se necesitan herramientas de seguridad cibernética que protejan y

a la vez alerten a los encargados cuando exista algún tipo de vulnerabilidad (Toronto Centre, 2018).

## ADULTO

Dentro de este nivel se tiene un puntaje medio alto, lo que indica que la empresa posee un desempeño elevado en sus prioridades competitivas que considera importantes y tiene un buen desempeño en el resto de prioridades. Sus palancas de fabricación se consideran con la capacidad adecuada para desempeñar sus funciones, además de que existe una planeación estratégica notable y participativa (Vivares, 2017). Con respecto a la tecnología, los sistemas son productivos y eficientes, además de que la información manejada dentro de la organización se encuentra integrada. Existe una cultura de innovación e información pertinente disponible para realizar planificaciones (Milosevic, 2019).

Este nivel está relacionado con el nivel de planeación según la pirámide de automatización, es decir, está enfocado en supervisión del sistema de producción desde el inicio, es decir, materia prima, hasta el cliente; se usan sistemas para comprender lo que sucede a lo largo de la cadena y poder tomar decisiones informadas (RealPars, 2018). Así mismo, este nivel está relacionado con el nivel tres de la pirámide de transformación digital, que se relaciona con la conectividad del aspecto físico con los sistemas para monitorear la información y poder tomar decisiones predictivas y preventivas (I-SCOOP, n.d).

La demanda actual de reducir el tiempo y los costos involucrados en llevar un producto desde la conceptualización hasta la producción ha obligado a las empresas a recurrir a tecnologías nuevas y emergentes en el área de fabricación, como la realidad virtual y aumentada (Mujber, Szecsi, & Hashmi, 2004). Existen aplicaciones de

creación que se pueden utilizar para desarrollar y crear un entorno de fabricación virtual para abordar la planificación de procesos, la estimación de costos, el diseño de fábrica, la ergonomía, la robótica, el mecanizado, la inspección, la simulación de fábrica y la gestión de la producción (Mujber et al., 2004).

Un cambio en la tecnología de una organización influirá en sus estructuras operativas y administrativas. Un área que se ha visto que tiene un gran potencial de cambiar con la manufactura aditiva, es la planeación y el control de calidad. Se han identificado que las empresas han desarrollado distintas estrategias durante el proceso de planeación gracias a la manufactura aditiva, como: estrategias orientadas a la producción de partes, construcción de estrategias basadas en volumen de producción, fabricación en capas, entre otros (Mellor, Hao, & Zhang, 2014). Esto también está ocurriendo con los robots, ya que la ISO 10303 AP 242 (Industrial Systems Automation and Integration), ya ha agregado información semántica de manufactura en los diseños asistidos por computadora, permitiendo que los requisitos de tolerancias geométricas y dimensionales se lleven automáticamente desde el diseño hasta la planificación e inspección del proceso sin la necesidad de interpretación humana. Esto abre la posibilidad de automatizar la selección, programación y operación de sistemas robóticos y garantizar que los resultados cumplan con los requisitos del producto. Para hacer esto, los modelos de rendimiento del robot deben incluir representaciones de precisión e incertidumbre, y suficiente información cinemática y dinámica para ubicar de manera óptima las operaciones en sus volúmenes de trabajo (Proctor, Van Der Hoorn, & Lipman, 2016).

## LÍDER

Dentro de este nivel se tiene un puntaje alto, lo que indica que la empresa posee un desempeño superior en sus prioridades competitivas que le permiten competir a nivel

mundial. Sus palancas de fabricación se consideran excepcionales y se esfuerza por mantener la innovación y se encuentra en un estado permanente de mejora continua (Vivares, 2017). Con respecto a la tecnología, la empresa posee herramientas conectadas estratégicamente, programas de innovación formales, sistemas integrados que están evolucionando constantemente y una cultura digital donde el personal posee habilidades y conocimientos de tecnología adecuados (Milosevic, 2019).

Este nivel está relacionado con el nivel de gestión según la pirámide de automatización, es decir, está enfocado en la administración de toda la organización mediante algún software que permita integrar la información (RealPars, 2018). Así mismo, este nivel está relacionado con el nivel cuatro de la pirámide de transformación digital, que se relaciona con la creación de nuevos ecosistemas y modelos de negocio, es decir, el uso de software y otras herramientas para generar servicios y nuevas oportunidades dentro de la manufactura, como la personalización de productos a través de una plataforma (I-SCOOP, n.d).

A nivel mundial, tanto en casos físicos como virtuales, para optimizar todo el proceso, es necesario rastrear el comportamiento del material y los parámetros del proceso para caracterizar completamente las piezas fabricadas. Se necesita un sistema que permita la recopilación de datos, la gestión y la trazabilidad a través de múltiples lotes para abordar estos desafíos (Mscsoftware, 2019), es decir, se necesita una integración vertical y horizontal adecuada, IoT, cloud, robots, simulación, gestión de Big Data y manufactura aditiva.

Esto permite la correlación entre los parámetros del proceso de fabricación y el rendimiento de la pieza, lo que puede revelar indicadores clave en la variabilidad del proceso. Además, la recopilación de los datos del proceso puede proporcionar un rendimiento predictivo de la parte utilizando modelos estadísticos. Finalmente, la

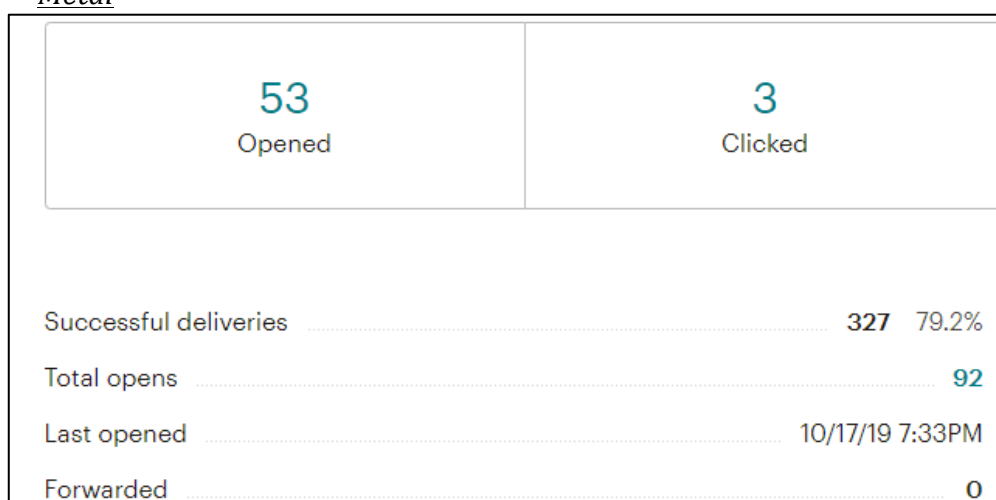
trazabilidad de los datos se puede utilizar para calibrar y explicar la variación entre dos máquinas de impresión, para asegurar el control de calidad (Mscsoftware, 2019).

En los últimos años, la introducción y el creciente énfasis en la gestión de procesos ha permitido a la industria cambiar hacia aplicaciones interactivas, automatización de lotes, nuevas tecnologías basadas en la web y la capacidad de monitorear el ciclo de vida completo de los datos corporativos de alta calidad (Mscsoftware, 2019).

Con un sistema integrado, las organizaciones pueden enfocarse en la gestión y dedicarse a: optimizar los productos, asegurar calidad, realizar seguimiento durante toda la cadena de suministro y mantenerse competitivo en el mercado (Bekker, 2019).

## Anexo N: Tasa de respuesta de los correos electrónicos enviados

### *Metal*



Madera

<b>21</b> Opened	<b>2</b> Clicked
Successful deliveries .....	<b>98</b> 92.5%
Total opens .....	<b>27</b>
Last opened .....	10/17/19 1:04AM
Forwarded .....	<b>0</b>




## Top locations by opens

 Ecuador	17 73.9%
 USA	6 26.1%

Alimentos

<b>41</b> Opened	<b>2</b> Clicked
Successful deliveries .....	<b>229</b> 74.8%
Total opens .....	<b>67</b>
Last opened .....	10/19/19 12:21PM
Forwarded .....	<b>0</b>

## Top locations by opens

 Ecuador	52 83.9%
 USA	9 14.5%
 Spain	1 1.6%



Guayas

<b>11</b> Opened	<b>0</b> Clicked
Successful deliveries .....	<b>73</b> 92.4%
Total opens .....	<b>14</b>
Last opened .....	10/7/19 9:49AM
Forwarded .....	<b>0</b>

## Top locations by opens

 Ecuador	9 75.0%
 USA	3 25.0%

Primera Campaña (Todas las industrias)

<b>329</b> Opened	<b>8</b> Clicked
Successful deliveries .....	<b>1,248</b> 83.4%
Total opens .....	<b>436</b>
Last opened .....	10/18/19 9:58AM
Forwarded .....	<b>0</b>

**Anexo O. Gráficas de Resultados**

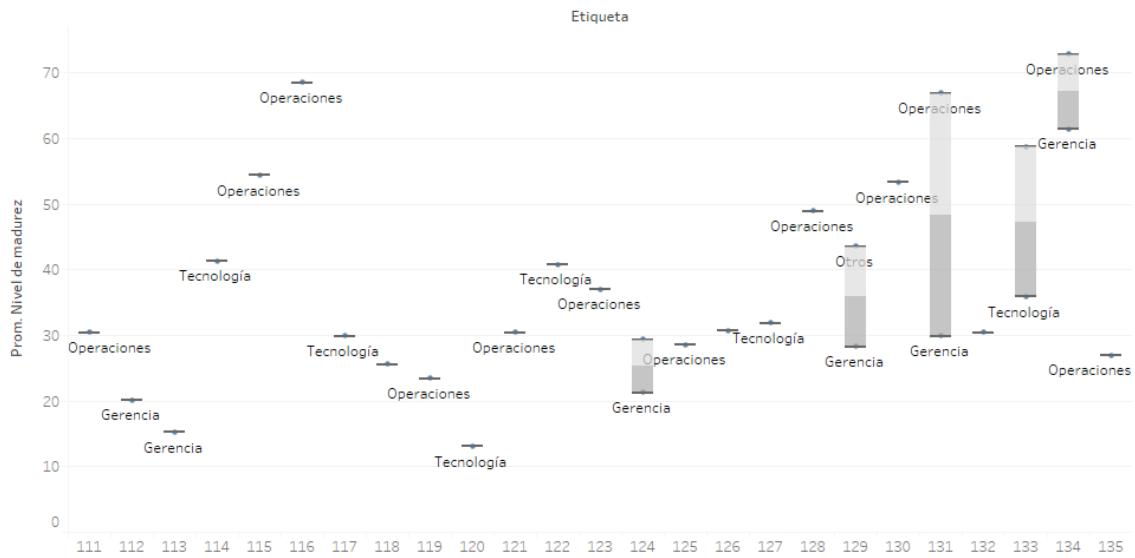
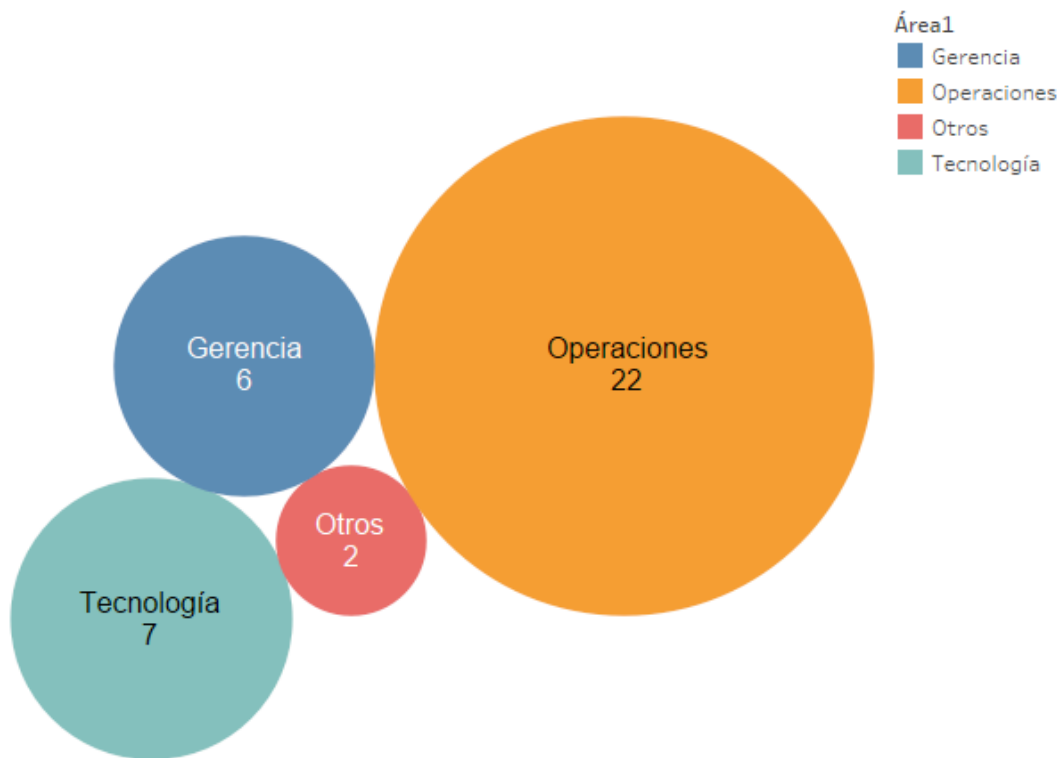
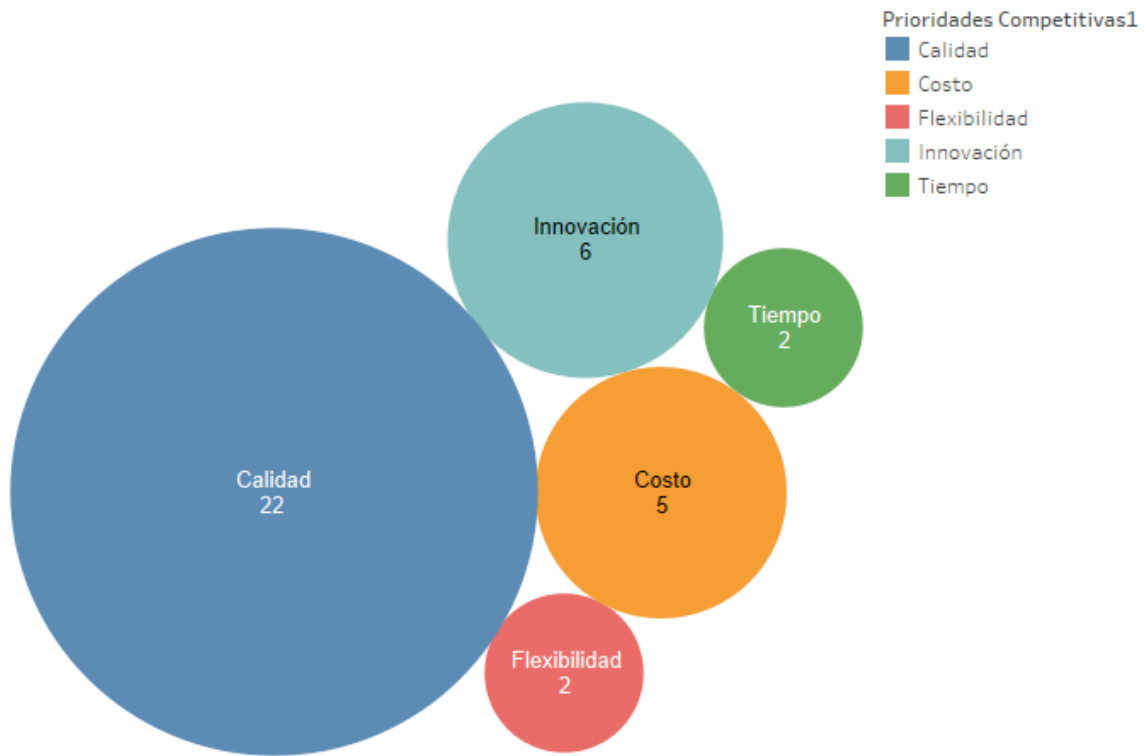


Figura 21. Dispersión del nivel de madurez digital de las empresas según el área.



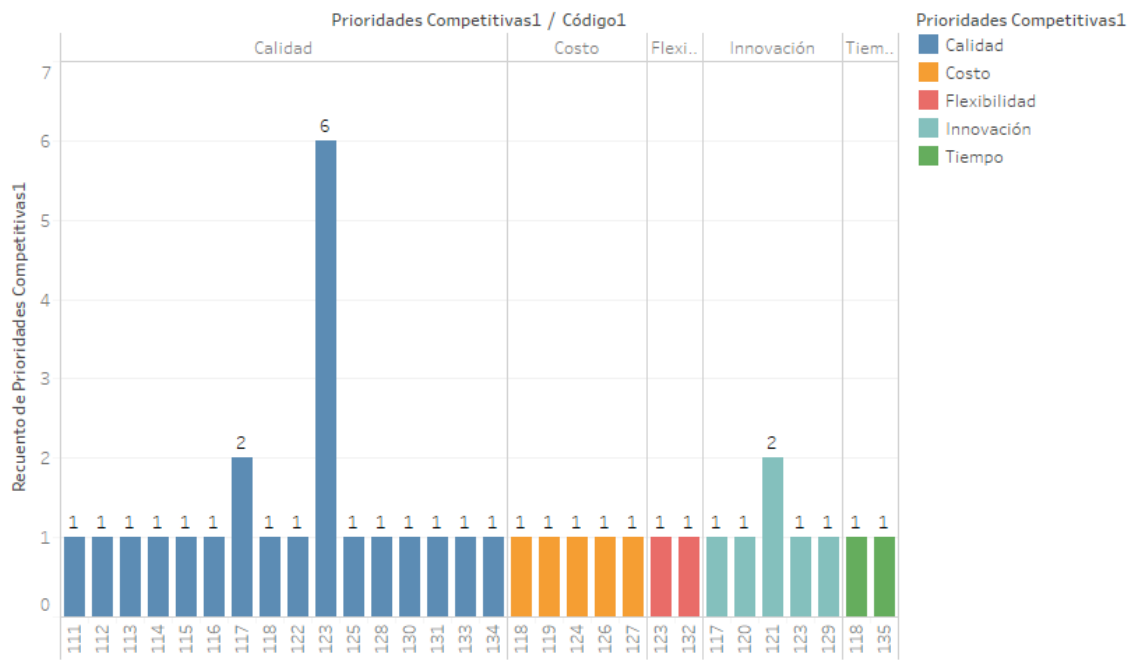
Área1 como un atributo y recuento de Nivel de madurez. El color muestra detalles acerca de Área1. El tamaño muestra recuento de Nivel de Madurez1. Las marcas se etiquetan por Área1 como un atributo y recuento de Nivel de madurez.

Figura 22. Número de respuestas totales según el área.



Prioridades Competitivas1 y recuento de Prioridades Competitivas1. El color muestra detalles acerca de Prioridades Competitivas1. El tamaño muestra recuento de Prioridades Competitivas1. Las marcas se etiquetan por Prioridades Competitivas1 y recuento de Prioridades Competitivas1.

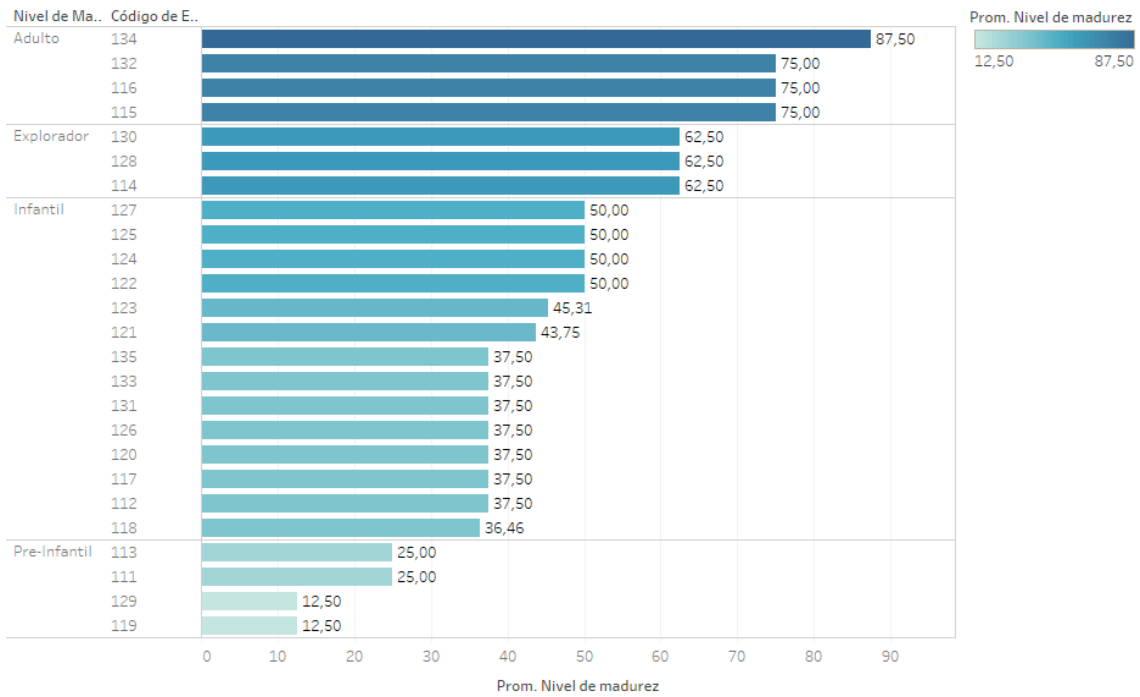
Figura 23. Cuento de la prioridad competitiva que las empresas consideran más importante.



Recuento de Prioridades Competitivas1 para cada Código1 desglosado por Prioridades Competitivas1. El color muestra detalles acerca de Prioridades Competitivas1. Las marcas se etiquetan por recuento de Prioridades Competitivas1.

Figura 24. Prioridad competitiva más importante según empresa.

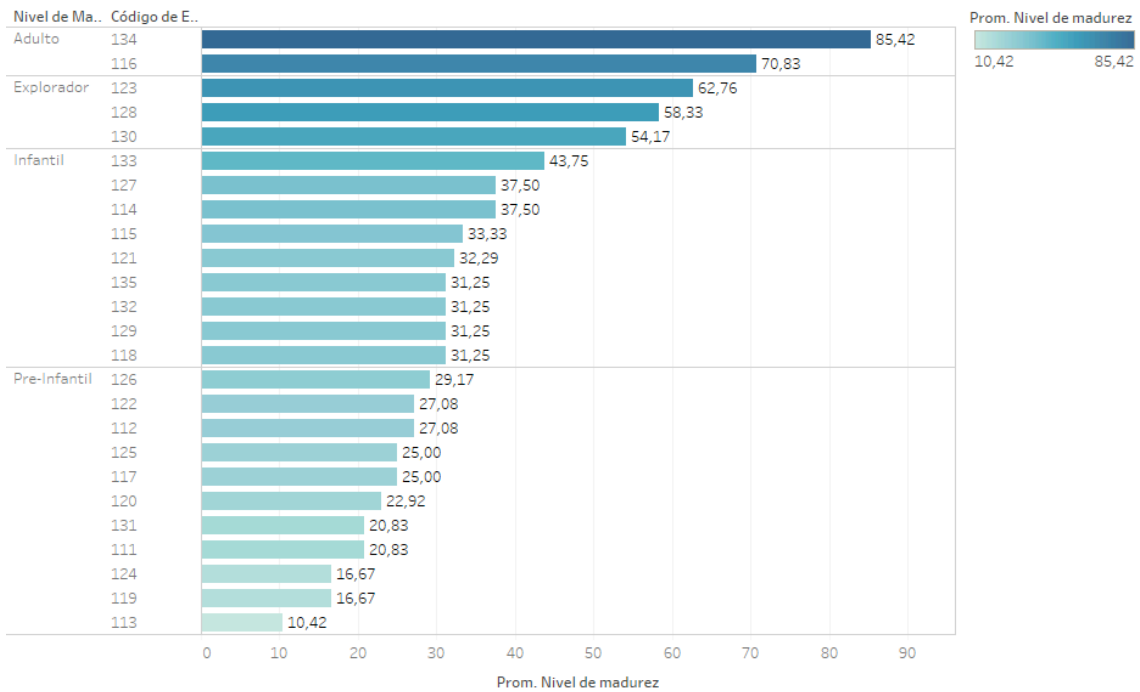
Costo



Promedio de Nivel de madurez para cada Código de Empresa desglosado por Nivel de Madurez1. El color muestra promedio de Nivel de madurez. Las marcas se etiquetan por promedio de Nivel de madurez.

Figura 25. Nivel de Madurez de la Prioridad Competitiva de Costo

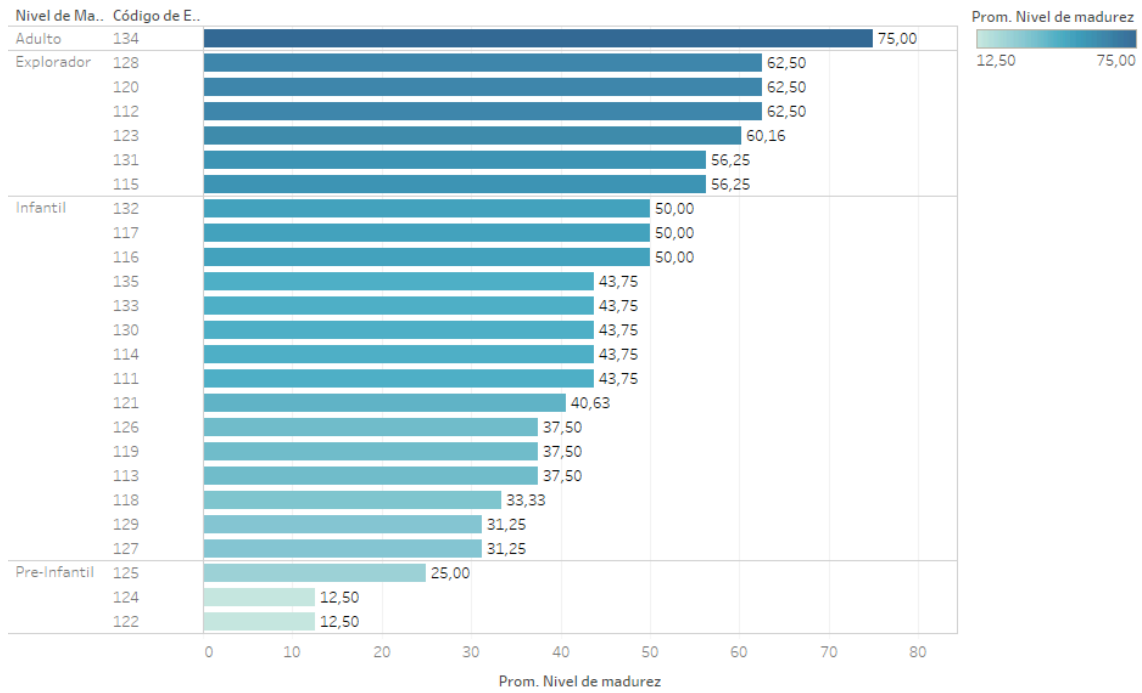
Calidad



Promedio de Nivel de madurez para cada Código de Empresa desglosado por Nivel de Madurez1. El color muestra promedio de Nivel de madurez. Las marcas se etiquetan por promedio de Nivel de madurez.

Figura 26. Nivel de Madurez de la Prioridad Competitiva de Calidad

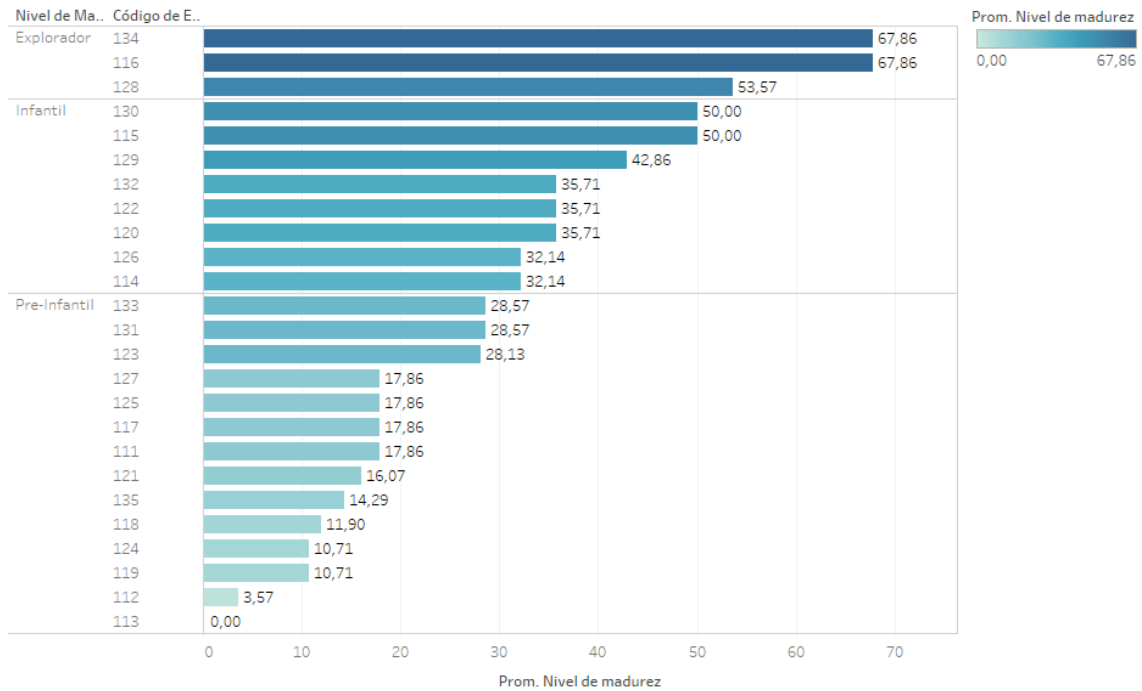
### Flexibilidad



Promedio de Nivel de madurez para cada Código de Empresa desglosado por Nivel de Madurez1. El color muestra promedio de Nivel de madurez. Las marcas se etiquetan por promedio de Nivel de madurez.

Figura 27. Nivel de Madurez de la Prioridad Competitiva de Flexibilidad

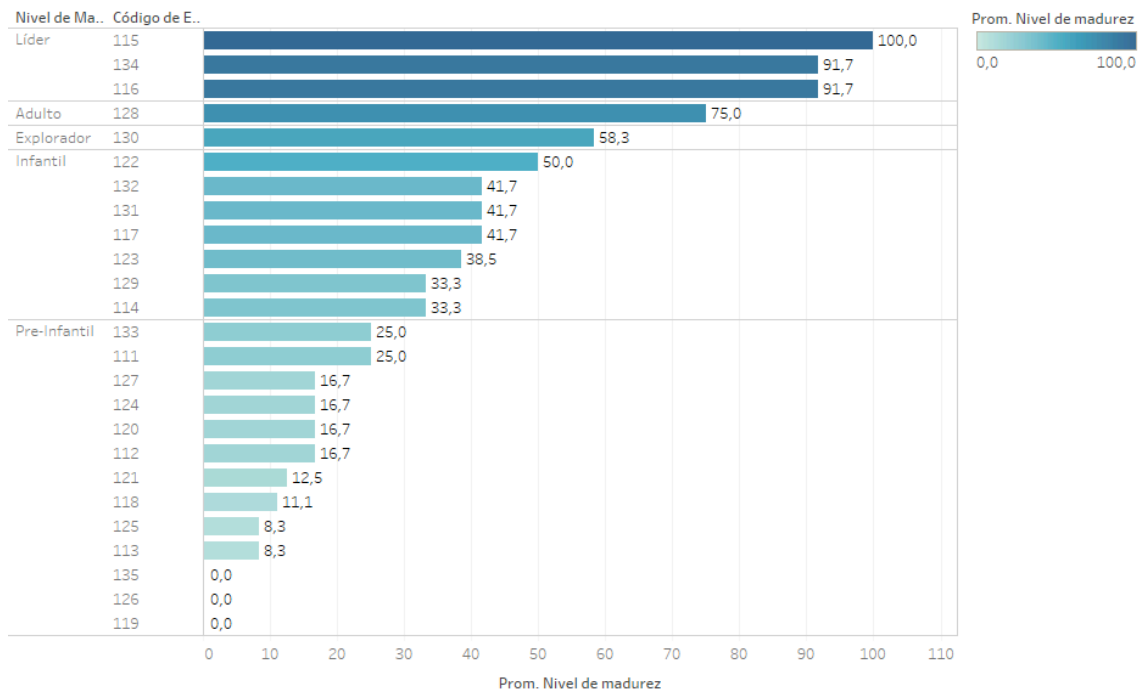
### Global



Promedio de Nivel de madurez para cada Código de Empresa desglosado por Nivel de Madurez1. El color muestra promedio de Nivel de madurez. Las marcas se etiquetan por promedio de Nivel de madurez.

Figura 28. Nivel de Madurez de la Prioridad Competitiva de Global

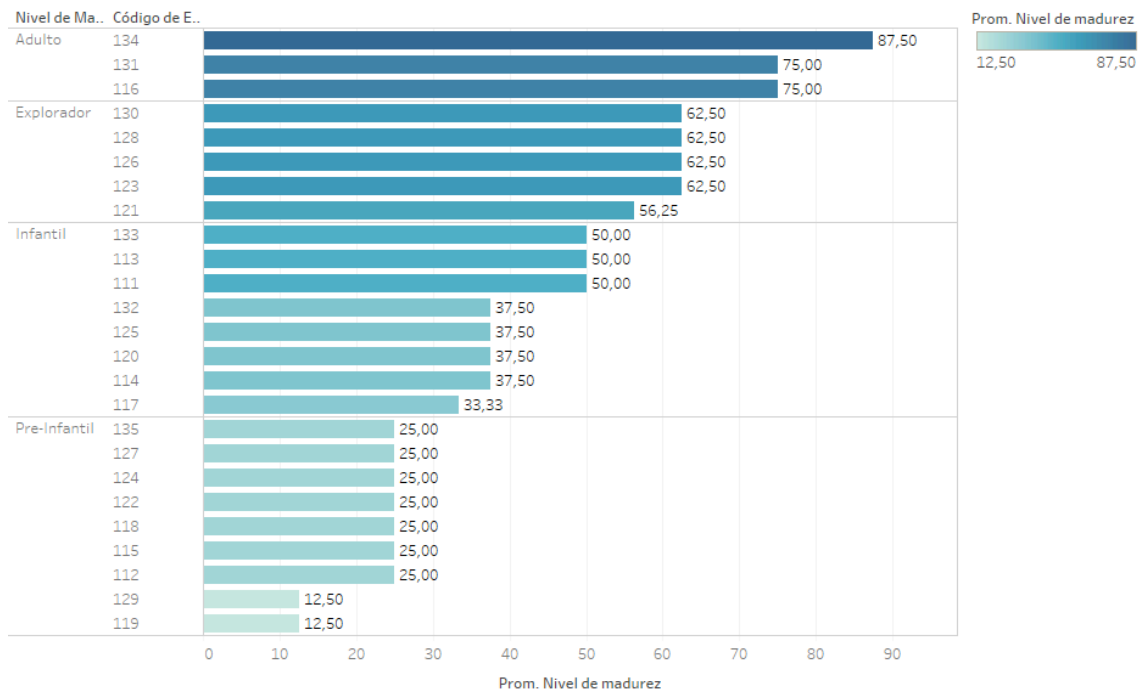
## Innovación



Promedio de Nivel de madurez para cada Código de Empresa desglosado por Nivel de Madurez1. El color muestra promedio de Nivel de madurez. Las marcas se etiquetan por promedio de Nivel de madurez.

Figura 29. Nivel de Madurez de la Prioridad Competitiva de Innovación

## Tiempo



Promedio de Nivel de madurez para cada Código de Empresa desglosado por Nivel de Madurez1. El color muestra promedio de Nivel de madurez. Las marcas se etiquetan por promedio de Nivel de madurez.

Figura 30. Nivel de Madurez de la Prioridad Competitiva de Tiempo

## REFERENCIAS

- Arafa, A., & Elmaraghy, W. H. (2011). *CIRP Annals - Manufacturing Technology*  
 Manufacturing strategy and enterprise dynamic capability. 60, 507–510.  
<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2011.03.051>
- Bennett, C., Khangura, S., Brehaut, J. C., Graham, I. D., Moher, D., Potter, B. K., &  
 Grimshaw, J. M. (2011). Reporting guidelines for survey research: an analysis of  
 published guidance and reporting practices. *PLoS medicine*, 8(8), e1001069.
- Botta, A., Donato, W. De, Persico, V., & Pescap, A. (2014). On the Integration of  
 Cloud Computing and Internet of Things.
- Brown, S., Squire, B., & Blackmon, K. (2007). The contribution of manufacturing  
 strategy involvement and alignment to world-class manufacturing performance.  
*International Journal of Operations & Production Management*, 27(3), 282–302.  
[doi:10.1108/01443570710725554](https://doi.org/10.1108/01443570710725554)
- Dangayach, G. S., & Deshmukh, S. G. (2001). Manufacturing strategy: literature review  
 and some issues. *International Journal of Operations & Production Management*,  
 21(7), 884-932.
- Dangayach, G. S., & Deshmukh, S. G. (2001). Manufacturing strategy: literature review  
 and some issues. *International Journal of Operations & Production Management*,  
 21(7), 884-932.
- Directorio de empresas y establecimientos del Ecuador (DIEE). (2017). Directorio de  
 Empresas. Recuperado el 20 de noviembre del 2018 de  
<http://www.ecuadorencifras.gob.ec/directoriodeempresas/>
- Haro, N. (2019). *Madurez Digital, primer paso hacia la transformación digital:*  
 Desarrollo de un modelo de madurez digital para empresas de manufactura. (Tesis  
 de Pregrado). Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.

- Hollender, M., Harjunkoski, I., Horch, A., Zeidler, C., & Isaksson, A. (2010). Collaborative process automation systems. In ABB Review.
- Huxtable, J., & Schaefer, D. (2016). On Servitization of the Manufacturing Industry in the UK. *Procedia CIRP*, 52, 46–51. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.042>
- Jonas, D. (2010). Empowering project portfolio managers: How management involvement impacts project portfolio management performance. *International Journal of Project Management*, 28(8), 818–831. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.07.002>
- Kane, G. C., Palmer, D., Phillips, A. N., Kiron, D., & Buckley, N. (2015). Strategy, not technology, drives digital transformation. MIT Sloan Management Review and Deloitte University Press, 14, 1-25.
- Kang, H. S., Lee, J. Y., Choi, S., Kim, H., Park, J. H., Son, J. Y., & Do Noh, S. (2016). Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 3(1), 111-128.
- Khare, R. (n.d.). A powerful technique to improve Quality and Productivity. 1–7.
- Lezzi, M., Lazoi, M., & Corallo, A. (2018). Computers in Industry Cybersecurity for Industry 4.0 in the current literature : A reference framework. *Computers in Industry*, 103, 97–110. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.09.004>
- Liu, Y., & Xu, X. (2017). Industry 4.0 and Cloud Manufacturing : A Comparative Analysis. 139(March), 1–8. <https://doi.org/10.1115/1.4034667>
- Lu, Y., Morris, K. C., & Frechette, S. (2016). Current standards landscape for smart manufacturing systems. National Institute of Standards and Technology, NISTIR, 8107, 39.



- Martínez-Olvera, C., & Mora-Vargas, J. (2019). A comprehensive framework for the analysis of Industry 4.0 value domains. *Sustainability (Switzerland)*, 11(10), 1–21. <https://doi.org/10.3390/su11102960>
- Mellor, S., Hao, L., & Zhang, D. (2014). Additive manufacturing: A framework for implementation. *International Journal of Production Economics*, 149, 194–201. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.07.008>
- Milosevic, B. (2019). Digital maturity framework. Recuperado el 20 de Agosto del 2019 de <https://www.digitalleadership.ltd/digital-maturity-framework>
- Ministerio de telecomunicaciones y de la sociedad de la información (Observatorio TIC). (2016). Indicadores y Estadística: TIC en empresas. Recuperado el 21 de noviembre del 2018 de <https://observatoriotic.mintel.gob.ec/estadistica/index.html>
- Mujber, T. S., Szecsi, T., & Hashmi, M. S. J. (2004). Virtual reality applications in manufacturing process simulation. *Journal of Materials Processing Technology*, 155–156(1–3), 1834–1838. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.04.401>
- Ochoa, O. L. (2016). Modelos de madurez digital: ¿en qué consisten y qué podemos aprender de ellos?/digital maturity models: what are they and what can we learn from them?. *Boletín de Estudios Económicos*, 71(219), 573.
- Othman, F. (2016). *Jurnal Teknologi*. (August). <https://doi.org/10.11113/jt.v78.9285>
- Paelke, V. (2014). Augmented reality in the smart factory: supporting workers in an industry 4.0. Environment, in: *Proceedings of the 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFAs)*, IEEE, pp. 1–4.
- Parasuraman, R., Galster, S., Squire, P., Furukawa, H., & Miller, C. (2005). A Flexible Delegation-Type Interface Enhances System Performance in Human Supervision of Multiple Robots : Empirical Studies With RoboFlag. (December 2012). <https://doi.org/10.1109/TSMCA.2005.850598>

- Pérez-Lara, M., Saucedo-Martínez, J. A., Marmolejo-Saucedo, J. A., Pandian, V., & Salais-Fierro, T. E. (2018). Vertical and horizontal integration systems in Industry 4.0. (November). <https://doi.org/10.1007/s11276-018-1873-2>
- Pöppelbuß, J., & Röglinger, M. (2011, June). What makes a useful maturity model? a framework of general design principles for maturity models and its demonstration in business process management. In ECIS (p. 28).
- Proctor, F. M., Van Der Hoorn, G., & Lipman, R. (2016). Automating Robot Planning Using Product and Manufacturing Information. *Procedia CIRP*, 43, 208–213. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.139>
- Rees, L. ., Paul, L., Deane, J. K., Rakes, T. R., & Baker, W. H. (2011). Decision support for Cybersecurity risk planning. *Decision Support Systems*, 51(3), 493–505. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2011.02.013>
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., & Harnisch, M. (2015). *Industry 4.0 : The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*. Rüßmann. (2015). *Future of Productivity and Growth in Manufacturing*. Boston Consulting, (April). <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- Sarmah, H. K., Choudhury, G., & Bora Hazarika, B. (1967). An investigation on effect of bias on determination of sample size on the basis of data related to the students of schools of Guwahati; *International Journal of Applied Mathematics and Statistical Sciences*, 2(February).
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2009). *A playbook for Research Methods*.
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihm, W. (2016). A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, 52, 161-166.

- Shrouf, F., Ordieres, J., & Miragliotta, G. (2014). Smart Factories in Industry 4.0 : A Review of the Concept and of Energy Management Approached in Production Based on the Internet of Things Paradigm. 697–701.
- Sree, K. J. (2010). Methods of teaching science. Discovery Publishing House.
- Steenhuis, H., & Pretorius, L. (2017). The additive manufacturing innovation : a range of implications.
- Tao, F., Cheng, Y., Xu, L. Da, Member, S., Zhang, L., & Li, B. H. (2014). CCIoT-CMfg : Cloud Computing and Internet of Things-Based Cloud Manufacturing Service System. (April 2015). <https://doi.org/10.1109/TII.2014.2306383>
- Tavakoli, B., & Ismail, M. (2017). Digital maturity within distributionA study within the Swedish retail industry.
- Thames, L., & Schaefer, D. (2016). Software-defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 52, 12–17. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.041>
- Toronto Centre. (2018). Supervision of Cyber Risk.
- The manufacturers' organization (eef). (2018). *CYBER SECURITY FOR MANUFACTURING*. Recuperado el 7 de septiembre del 2019 de [http://downloads2.dodsmonitoring.com/downloads/Misc\\_Files/EEF-Cyber-Report-2018%20\(1\).pdf](http://downloads2.dodsmonitoring.com/downloads/Misc_Files/EEF-Cyber-Report-2018%20(1).pdf)
- Vaidya, S., Ambad, P., & Bhosle, S. (2018). ScienceDirect ScienceDirect ScienceDirect Industry 4 . 0 – A Glimpse Industry 4 . 0 – A Glimpse Costing models for capacity optimization in Industry 4 . 0 : Trade-off between used capacity and operational efficiency. *Procedia Manufacturing*, 20, 233–238. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034>

Vivares Vergara, J. A. (2017). Modelo de madurez para valorar el sistema de producción y formular la estrategia de manufactura (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales).

Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2016). The digitization that includes the Internet and mobile technologies with its high-speed connectivity has helped bring about the change of established business models. 2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, FSKD 2015, 2147–2152.

<https://doi.org/10.1109/FSKD.2015.7382284>