

Claudio Maggi Campos
Mario Ramos Maldonado
Renato Vergara Guerra

Adopción de tecnologías digitales 4.0

por parte de pequeñas y medianas
empresas manufactureras

en la Región del Biobío

(Chile)



NACIONES UNIDAS



Financiado por
la Unión Europea



Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.

 www.cepal.org/es/publications

 www.cepal.org/apps

Adopción de tecnologías digitales 4.0 por parte de pequeñas y medianas empresas manufactureras en la Región del Biobío (Chile)

Claudio Maggi Campos

Mario Ramos Maldonado

Renato Vergara Guerra



NACIONES UNIDAS



Financiado por
la Unión Europea



Este documento fue elaborado por Claudio Maggi Campos, de la Universidad de Chile; Mario Ramos Maldonado, de la Universidad del Bío-Bío, y Renato Vergara Guerra, del Centro de Investigación de Polímeros Avanzados, en el marco de las actividades del proyecto EUROMIPYME, "Mejores políticas para las micro, pequeñas y medianas empresas en América Latina", financiado por la Unión Europea. El estudio es parte de un programa de investigación sobre adopción y uso de nuevas tecnologías digitales en micro, pequeñas y medianas empresas (mipymes), industriales en un conjunto seleccionado de países de América Latina. Dicho programa es liderado por la Universidad Nacional de Rafaela de la Argentina, bajo la supervisión metodológica de Nicolo Gligo y Marco Dini, de la División de Desarrollo Productivo y Empresarial de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Los autores agradecen la colaboración prestada por todas las empresas, los diversos expertos en la materia y los representantes de entidades empresariales que amablemente han cedido su tiempo y atención para realizar entrevistas y compartir información con el equipo.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización.

Publicación de las Naciones Unidas
LC/TS.2020/133
Distribución: L
Copyright © Naciones Unidas, 2020
Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago
S.20-00734

Esta publicación debe citarse como: C. Maggi, M. Ramos y R. Vergara, "Adopción de tecnologías digitales 4.0 por parte de pequeñas y medianas empresas manufactureras en la Región del Biobío (Chile)", *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2020/133), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2020.

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Publicaciones y Servicios Web, publicaciones.cepal@un.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

Introducción	5
I. Contexto y alcance del estudio	7
A. Las PYMEs manufactureras de la Región del Biobío, Chile: perspectivas y avances en la adopción de tecnologías 4.0	8
B. Enfoque metodológico y caracterización general de la muestra de empresas entrevistadas.....	9
II. Factores habilitantes externos	11
A. Instrumentos públicos de apoyo al proceso de adopción de tecnologías 4.0 en pymes	11
B. Complejidad económica y sofisticación de demanda.....	13
III. Caracterización del proceso de adopción de tecnologías 4.0 en pymes manufactureras del Biobío	15
A. Antecedentes	15
B. Síntesis descriptiva de las PYME manufactureras incluidas en el estudio de campo.....	16
IV. Factores determinantes del éxito en la adopción de TD 4.0 por parte de pymes manufactureras, a partir de la experiencia en Biobío	33
A. Categorías y enfoque TOE para tipificar grupos de empresas.....	33
B. Análisis y tendencias a partir de las respuestas por categoría	36
C. Agrupación y tipología de empresas según condiciones y dinámica de adopción de TD 4.0	41
V. Caracterización de beneficios, motivaciones y dificultades del proceso de adopción de TD 4.0 para la muestra de pymes manufactureras encuestadas	45
A. Motivaciones para la adopción de TD 4.0 en las pymes estudiadas	45
B. Beneficios reportados a partir de la adopción de TD 4.0	46
C. Principales obstáculos detectados	48
VI. Conclusiones y recomendaciones	51
A. Síntesis de hallazgos y resultados.....	51
B. Consideraciones para el diseño de estrategias y políticas públicas para impulsar el avance de PYMEs manufactureras hacia la Industria 4.0	53
Bibliografía	55
Anexo	57

Cuadros

Cuadro 1	Distribución por tamaño de empresas manufactureras en la Región del Biobío (2016).....	8
Cuadro 2	Evolución del número de empresas manufactureras, entre 2009 y 2016. Chile y Región del Biobío	8
Cuadro 3	Instituciones regionales que promueven la adopción de tecnología digital 4.0.....	13
Cuadro 4	Resumen de empresas encuestadas	16
Cuadro 5	Perfil de empresas encuestadas	32
Cuadro 6	Síntesis de respuestas por categoría TOE	37
Cuadro 7	Empresas, oferta y tipología de adopción	43
Cuadro 8	Resumen rasgos característicos de las tipologías.....	52
Cuadro A1	Listado de PYMEs y personas entrevistadas (marzo-mayo 2020)	57
Cuadro A2	Pauta estructurada aplicada a empresas.....	58

Gráfico

Gráfico 1	Tipologías de empresas encontradas según categorías.....	41
-----------	--	----

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es parte de un estudio empírico sobre las causas, procesos, beneficios y obstáculos de la adopción de tecnologías de digitalización y de industria 4.0 por parte de PYMEs manufactureras en distritos o territorios con vocación industrial en América Latina. El estudio forma parte del proyecto EuroPYME desarrollado por la CEPAL, con el apoyo financiero de la Unión Europea, cuyo propósito general es mejorar las políticas de fomento orientadas a la PYME.

La investigación realizada en los primeros meses de 2020 ha considerado las orientaciones metodológicas elaboradas por la CEPAL que han sido oportunamente adaptadas a la realidad productiva de la región chilena del Bio Bio.

En los últimos años hemos sido testigos de la irrupción de nuevos desarrollos tecnológicos que han transformado, de manera cada vez más perceptible, el escenario productivo y la organización industrial de un sinnúmero de cadenas de valor manufactureras a nivel global, las condiciones de empleabilidad a futuro, las estrategias competitivas de las empresas, las relaciones laborales y, por cierto, nuestra vida cotidiana.

Son varias las tecnologías que se sitúan en la base de este fenómeno, cuyo surgimiento y convergencia han configurado lo que hoy conocemos como la cuarta revolución industrial, o *Industria 4.0*: sensorización en procesos y productos, analítica de grandes datos (*big data analytics*), computación en la nube (*cloud computing*), Internet de las Cosas (*IoT*), manufactura aditiva, robótica avanzada e inteligencia artificial, entre otras expresiones. La adopción y combinación progresiva de este abanico de tecnologías, determina la evolución de una empresa hacia lo que conocemos como *Tecnologías Digitales 4.0 (TD 4.0)*.

Se entiende por TD 4.0 a la oferta industrial “inteligente” diferenciada por la digitalización e interconexión digital de procesos y productos, basada en sistemas *ciberfísicos*, a partir de la capacidad en equipos, dispositivos y los propios productos finales, mediante sensores e Internet, así como la capacidad de emitir y/o recibir información en tiempo real, en ambiente de interoperabilidad “máquina a máquina”.

A lo largo de la cadena de valor, los procesos productivos se integran con los sistemas informáticos, para su sincronización. El intercambio de información en tiempo real no se restringe al interior de la empresa, sino que puede abarcar a sus proveedores y clientes. Los proveedores reciben información en tiempo real sobre las necesidades de aprovisionamiento y de los cambios en diseño. Los pedidos de los clientes ingresan al sistema de la empresa con sus especificaciones y tiempos de entrega, activando los procesos productivos, las órdenes de trabajo y el aprovisionamiento de materiales. De igual manera, los requerimientos de mantención son “informados” por los clientes, alimentando datos que perfeccionan sus modelos predictivos.

En consecuencia, el modelo de negocios de las empresas, bajo el paradigma de la Industria 4.0, tiende a cambiar de manera relevante al integrar servicios al cliente pre y post-venta “embebidos” en los productos ofrecidos.

A pesar de su rápido e incontrarrestable avance, según el Informe de Desarrollo Industrial 2020 de ONUDI, el desarrollo de las tecnologías 4.0 se concentra fuertemente en diez países, quienes en conjunto dan cuenta del 90% de las patentes y de un 70% de las exportaciones pertenecientes al ámbito de la manufactura avanzada¹. Según el mismo informe, existe un grupo de 40 economías, activamente insertas en esta transformación industrial, con creciente capacidad productiva y exportadora, aunque aún lejos del nivel de las economías líderes. En este grupo se sitúan por América Latina Brasil, Argentina, México y Colombia. Le siguen los llamados adoptadores tardíos (*latecomers*), un conjunto de 29 países que incluye a Chile, República Dominicana, Venezuela, Costa Rica y Ecuador, por América Latina. Completan este escenario 88 países evaluados como rezagados en la adopción de tecnologías y procesos de manufactura avanzada.

¹ Los países en cuestión son, en orden de participación en el total de patentes: EE.UU., Japón, Alemania, China, Taiwán P.O.C., Francia, Suiza, UK, Corea del Sur y Holanda.

A. Las pymes manufactureras de la Región del Biobío, Chile: perspectivas y avances en la adopción de tecnologías 4.0

Conforme a los datos de la encuesta industrial anual (ENIA) en el año 2016 en la Región del Biobío² existían 398 empresas manufactureras operando, de las cuales un 80% correspondía al segmento pequeñas y medianas empresas (pymes), lo que la posiciona como la segunda región del país con mayor número de unidades manufactureras, sólo superada por la Región Metropolitana (Santiago).

Cuadro 1

Distribución por tamaño de empresas manufactureras en la Región del Biobío (2016)

Segmento de tamaño	Número	Porcentaje
Grandes empresas (250 ocupados y más)	59	15
Medianas empresas (entre 50 y 249 ocupados)	108	27
Pequeñas empresas (entre 10 y 49 ocupados)	210	53
Microempresas (hasta 9 ocupados)	21	5
Total	398	100

Fuente: INE (Instituto Nacional de Estadísticas), encuesta ENIA 2016.

Además, el promedio anual de trabajadores formales por establecimiento en la Región del Biobío es, según datos de 2016, el segundo mayor del país después de la Región Metropolitana, lo cual refleja la vocación manufacturera de esta región, en particular en el Área Pencopolitana, correspondiente a la conurbación de las ciudades de Concepción, Talcahuano, Coronel, Penco y Tomé, que en total suman una población cercana al millón de habitantes.

Al comparar la evolución del número de empresas manufactureras operando en la región es posible apreciar que su evolución en la última década ha seguido la tendencia nacional declinante, con una caída muy pronunciada por efecto del terremoto de 2010, y una recuperación parcial a partir de 2012-2013, que sin embargo no revierte la disminución del número de establecimientos, considerablemente más marcada en términos porcentuales que la que se registra a nivel nacional. Mientras en Chile el número total de empresas manufactureras formales operativas cae un 7% entre 2009 y 2016, en igual período el número de empresas manufactureras en Biobío se reduce en un 19,1%. En el segmento pyme la pérdida de unidades manufactureras de la región es aún mayor en este período, con un 21,9%.

Cuadro 2

Evolución del número de empresas manufactureras, entre 2009 y 2016. Chile y Región del Biobío

Universo considerado	2009	2013	2016	Porcentaje variación (2016 v/s 2009)
Total país	4 417	2 895	4 106	-7,0
Total Región Biobío	492	237	398	-19,1
Total pymes manufactureras Biobío	407	198	318	-21,9

Fuente: INE (Instituto Nacional de Estadísticas), encuesta ENIA, diferentes años.

² Incluye la actual Región de Ñuble, separada administrativamente de Biobío a partir de agosto de 2018.

En 2018, con apoyo de CORFO, la Universidad del Bío-Bío dio a conocer un diagnóstico sobre competencias en manufactura avanzada de grandes empresas y pymes manufactureras de la región. El diagnóstico se centró en la detección de brechas en materia de automatización e informatización de la producción. Una nivelación posterior les permitiría avanzar hacia expresiones habilitantes de manufactura avanzada, tales como sensores, robótica y automatización avanzada. El diagnóstico se estructuró en las siguientes cuatro dimensiones: Gestión de operaciones, Sistemas físicos, Sistemas de información y Diseño de productos.

El estudio abarcó a 112 empresas locales, de las cuales 93 eran pymes. Los subsectores de actividad más representados en la muestra encuestada fueron: metalmecánico (47), alimentos (18), madera y muebles (15), construcción (11) y vestuario/calzado (6). Este análisis permitió detectar brechas respecto a la llamada revolución 3.0 y Tecnologías de Manufactura Avanzada y de la Información. En las grandes empresas, principalmente productoras de productos masivos o *commodities*, la adopción de tecnologías de automatización es una norma, así como los estándares y protocolos de comunicación.

Como podría esperarse, se detectó un progresivo avance, relativamente natural, de la gran industria hacia TD 4.0, especialmente en analítica de datos e inteligencia artificial. Sin embargo, en la mayoría de las pymes la realidad se mostró diferente, independiente del sector económico. Se detectó un retardo evidente en materia de tecnologías de automatización y Tecnologías de Información y Comunicaciones (TICs). El avance más sustantivo se encuentra a nivel de diseño de productos, con poco valor agregado en equipos y procesos productivos.

La caracterización de las pymes manufactureras regionales reveló que ellas están mediatizadas por la demanda de las grandes industrias. La mayoría son proveedoras de partes, piezas o equipos. Una proporción muy reducida ha enfrentado con éxito los procesos de digitalización, pero aún resulta un éxito global moderado. Entre las causas principales se enumeran la alta dependencia de grandes compañías, el relativo bajo nivel de conocimientos de los líderes de las propias empresas y la falta de financiamiento o capital riesgo para nuevas iniciativas, aspectos por lo demás repetidos en varios otros diagnósticos regionales y nacionales. El factor entorno para desarrollar e innovar es positivo en una región de declarada vocación por la tecnología y la innovación, con un ecosistema universitario importante y un creciente sistema de apoyo al fomento y a la innovación desde lo público (Estrategia Regional de Desarrollo, Estrategia Regional de Innovación y Política Industrial).

B. Enfoque metodológico y caracterización general de la muestra de empresas entrevistadas

Este informe presenta los resultados del trabajo de campo en la Región del Biobío, Chile. El objetivo de esta investigación ha sido indagar directamente acerca de las motivaciones, beneficios y obstáculos de la introducción de TD 4.0 en un conjunto de pymes manufactureras, mediante la aplicación de entrevistas semi-estructuradas conforme a la guía metodológica común a los estudios de campo desarrollados en las diferentes regiones incluidas en el estudio.

La muestra de empresas encuestadas ha sido dirigida deliberadamente al segmento de empresas manufactureras locales que ya han introducido, o se encuentran próximas a incorporar, al menos una de las llamadas TD 4.0. El propósito es realizar un análisis cualitativo de cada caso, y en lo posible, ordenar e interpretar los resultados del

ejercicio, con apoyo de una tipología construida para caracterizar patrones de adopción entre las empresas examinadas. Esta tipología se definió en base a doce categorías que se presentan en detalle en la sección 3, conforme al enfoque conceptual TOE (*Technology-Organization-Environment*) elaborado por DePietro et al. (1990).

El listado de empresas entrevistadas se presenta en el Anexo 1. Se trata de 20 empresas de origen local que han iniciado o prevén iniciar procesos de adopción de TD 4.0. Conforme a su rango de ventas, dieciocho de ellas clasifican como pymes, incluyendo a dos empresas de reciente creación con proyección de evolución a pyme este año o el próximo. Dos empresas de la muestra corresponden al segmento de gran empresa conforme a la convención chilena, si bien su nivel de ventas se sitúa en los últimos años en un rango de entre USD 7 y 8 millones, lo cual en muchos otros países se considera pyme.

En cuanto a los sectores productivos de las empresas entrevistadas, su distribución refleja nítidamente la vocación manufacturera de la Región del Biobío, centrada en industria manufacturera intermedia, orientada a demandas y requerimientos de clientes industriales antes que a mercados de clientes finales. La muestra según el agrupamiento respecto a su tipo de producción corresponde a: a) 14 empresas orientadas a la fabricación de equipos, dispositivos y soluciones de ingeniería, b) 4 a la fabricación de partes y piezas a pedido y c) 2 a la producción en serie.

Los resultados de las entrevistas permiten extraer un patrón o perfil para cada empresa según las categorías establecidas de acuerdo al foco de esta investigación, permitiendo de esta manera, agrupar a aquellas empresas con perfiles similares o aproximados y así conformar una tipología, que se presenta más adelante.

El ecosistema empresarial y de Investigación y Desarrollo (I+D) de la región del Biobío es muy activo. Con 12 casas de estudios superior, la región posee importantes universidades que disponen de una oferta de capital humano avanzado relevante. En la región existen 3 instituciones que realizan sistemáticamente I+D en un amplio campo de disciplinario: Universidad de Concepción (UdeC), Universidad del Bío-Bío (UBB) y Universidad Católica de la Santísima Concepción (UCSC), existiendo grupos de trabajo e I+D permanentes en TD 4.0 en las dos primeras. El entorno de Biobío ha sido lo suficientemente activo, desde la creación por acuerdo entre CORFO y el Gobierno Regional del Comité Innova Biobío el año 2001, el cual en 2015 dio paso al Comité Regional de Desarrollo Productivo, como para incorporar y motivar a empresa y academia en acciones de innovación conjunta, aunque aún han sido más bien esporádicas aquellas orientadas específicamente a transformación digital empresarial.

Las acciones más relacionadas en los últimos años son el Nodo de Manufactura Avanzada de la UBB y más recientemente el Centro de Industria 4.0 de la UdeC, destacándose la primera por constituir un entorno preferente hacia empresa pymes. En general, existe la capacidad instalada en centros de formación técnica y universidades para ofrecer una amplia oferta de capacitación de distintos niveles, sin embargo, no es lo suficientemente aprovechada por las empresas. En efecto, las condiciones disponibles en el entorno de la región son altamente favorables para la vinculación universidad-empresa.

Por otro lado, la cultura industrial fabril de Biobío tiene larga data. La región ha sido desde mediados del siglo pasado un importante polo industrial, instalándose aquí una industria siderúrgica, petroquímica, pesquera y, a partir de los años 70s, una potente industria de productos forestales. Esta cultura ha estado presente y se refleja en las dimensiones educacional, sindical, de proveedores y muy especialmente en la alta conectividad nacional e internacional (aeropuertos, puertos y autopistas) constituyendo este último aspecto una clara fortaleza adicional de esta región.

A. Instrumentos públicos de apoyo al proceso de adopción de tecnologías 4.0 en pymes

Chile destaca a nivel latinoamericano como un país que ha sostenido políticas públicas de apoyo a la pyme desde hace décadas. La Corporación de Fomento (CORFO) y su filial orientada al fomento de la mipyme, el Servicio de Cooperación Técnica (SERCOTEC), han desplegado una oferta de instrumentos de fomento no financieros y financieros desde inicios de la década de los noventa (Muñoz et. al. 2010).

Los instrumentos de naturaleza no financiera operan bajo modalidad de cofinanciamientos no reembolsables (*matching grants*) para apoyar el diseño y adopción de estrategias asociativas, desarrollo de proveedores, proyectos de innovación y adopción tecnológica, con independencia del sector productivo y territorio al que pertenecen. Tras una década de expansión en la colocación de estos instrumentos entre 2000 y 2009, su presupuesto comenzó progresivamente a estancarse primero, para luego declinar en los últimos años.

En su cuenta pública de 2018, CORFO reportó una colocación total de aproximadamente USD 168 millones en subsidios orientados a la competitividad, innovación y desarrollo de capacidades tecnológicas. De esta cifra global, USD 75 millones se dirigieron a alrededor de 4.800 mipymes beneficiarias, los que se distribuyeron conforme al tipo de instrumento en 4.000 empresas beneficiarias de instrumentos de fomento a la competitividad y redes asociativas, poco menos de 700 para proyectos de innovación empresarial (incluyendo los programas de difusión tecnológica) y cerca de 100 en iniciativas relacionadas con desarrollo de capacidades tecnológicas. A partir de la separación de la actual Región de Ñuble en 2018, Biobío concentra entre un 8% y un 10% de las colocaciones nacionales de instrumentos CORFO, estimándose un rango de entre 400 y 480 mipymes beneficiarias/año, pertenecientes a todos los sectores de actividad, no contándose con información reciente relacionada a su distribución por sector de actividad económica.

A partir de 2015 comienzan a perfilarse instrumentos públicos tendientes a generar, desde el lado de la oferta, capacidades de apoyo a empresas de menor tamaño. En esta línea destacan nítidamente la conformación de la Red de Centros de Negocios de SERCOTEC, que actualmente cuenta con más de 50 centros en todo el país, operados por entidades gremiales, universitarias y ONG especializadas, siguiendo el modelo de los SBDC en Estados Unidos³. En el mismo período, y tomando como principal referencia la experiencia de los centros MEP⁴, siempre en Estados Unidos, desde CORFO se ha impulsado el establecimiento de capacidades de transferencia tecnológica a la pyme a través de los Centros de Extensionismo Tecnológico. Al 31 de marzo de 2020, estos centros suman 13 entidades desde Antofagasta a Magallanes, focalizados en diversos sectores y articulados con la banca pública (BancoEstado), para acceder a financiamiento en condiciones preferenciales de inversión y capital de trabajo, con propósito de mejoras tecnológicas y en general que impacten directamente en su productividad.

Para potenciar la labor de estos centros, CORFO ha reformulado recientemente el programa de Centros de Extensionismo Tecnológico bajo el nombre de *Fortalece pyme*, con mayor énfasis en un modelo de gobernanza público - privada. Si bien la red de centros no tiene un foco sectorial preestablecido, se plantea desde la agencia estatal que ellos pueden cumplir un rol relevante en la adopción de tecnologías digitales por parte de las pymes. Tres de los 13 centros se focalizan en la industria manufacturera, mientras otros cuatro incluyen dentro de su ámbito de acción algunos rubros manufactureros, vinculados a sectores como agroalimentos o minería.

Entre ellos sólo dos Centros de Extensionismo Tecnológico identifican dentro de su foco de acción a las empresas manufactureras localizadas en la Región del Biobío, ellos son CETMA, dependiente de la Universidad de Concepción, orientado a pymes manufactureras con especial foco en manufactura de madera y agroindustria; y CET-ASIMET, dependiente de la Asociación de Industrias Metalmeccánicas, con foco en la incorporación de tecnologías de automatización y digitalización para la industria metalmeccánica y metalúrgica. En rigor, ninguno de estos centros ha cumplido, durante sus primeros años de operación, un rol relevante en la adopción de tecnologías digitales por parte de las pymes locales, centrando su acción en intervenciones más abordables en periodos acotados de tiempo, tales como mejorar aspectos de gestión, diseño de productos y eficiencia energética de las empresas asesoradas.

Las principales experiencias institucionales que han abordado el proceso de adopción de TD 4.0 por parte de empresas locales han sido el Nodo de Manufactura Avanzada UBB y el Centro de Industria 4.0 de la UdeC. A continuación, se presenta una breve reseña descriptiva de ambas experiencias.

³ *Small Business Development Centers*, red de centros articulada por la *Small Business Administration*.

⁴ *Manufacturing Extension Partnership*, red de centros articulada por el NIST (National Institute for Standards and Technology).

Cuadro 3

Instituciones regionales que promueven la adopción de tecnología digital 4.0

Nombre de la iniciativa	Origen y financiamiento	Servicios brindados
Nodo de Manufactura Avanzada UBB	A partir de dos instrumentos CORFO, Programa de Difusión Tecnológica y Nodo para la Competitividad, en 2016 se constituye este grupo integrado por académicos y actores pymes del sector manufacturero de la Región del Biobío. Los instrumentos CORFO permitieron la inducción de empresa en tecnologías digitales y el desarrollo de proyectos específicos a cada pyme. En la misma línea en 2019 el Fondo de Innovación para Competitividad por USD 1 millón profundizará el trabajo en robótica y Manufactura Aditiva. En la actualidad, la continuidad del nodo se ha diversificado en tres grupos de trabajo: el grupo de Industria Inteligente y Sistemas Complejos (GISCOM), el grupo de Visión por Computador (VComp) y el Laboratorio de Investigación en Diseño (LAbD).	Se creó con el fin de realizar una efectiva actualización y transferencia de tecnología a empresas pymes en temáticas vinculadas a la automatización, la robótica e Industria 4.0, a tareas de diagnósticos, capacitaciones y desarrollo de prototipos en el ámbito de la auscultación de mercado, desarrollo de productos y mejoramiento de procesos. Actualmente, se llevan a cabo diferentes proyectos vinculados a TD 4.0 con empresas pymes y grandes con énfasis en ingeniería de datos, visión por computador y tecnologías de diseño.
Centro Industria 4.0 UdeC (C4i)	Este Centro se conforma al alero de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción, a partir de la obtención de dos financiamientos relevantes, cerca de USD 5 millones del Programa Tecnológico en Manufactura Avanzada de CORFO para el período 2019-2022, en alianza con el Instituto Profesional INACAP y la U. Católica de la Santísima Concepción; y un segundo apoyo de USD 500 mil para 2019-2020 desde el Fondo de Innovación FIC Regional. Las áreas de acción del Centro se enmarcan en las tecnologías (<i>drivers</i>) de la cuarta revolución industrial, tales como sistemas ciberfísicos, Internet de las cosas (IoT), inteligencia artificial (IA), manufactura aditiva, robótica avanzada, entre otras.	El Centro ha conformado una oferta de servicios rutinarios para empresas asociadas, enfocados a las áreas de acción del C4i, como diseño y fabricación electrónica o prototipado industrial, entre otros. Asimismo, ha desarrollado una línea de apoyo a emprendimientos que se denomina "Aceleradora de <i>hardware</i> ", que cumple la función de apoyar proyectos en sus etapas iniciales ofreciendo servicios en las dimensiones de conceptualización, diseño y ejecución de <i>software</i> , <i>hardware</i> , <i>firmware</i> y diseño industrial. Esta aceleradora, que utiliza todos los equipos especializados del centro, tiene la capacidad de entregar a emprendimientos un alto nivel técnico y una capacidad de respuesta muy rápida para la fabricación de prototipos.

Fuente: elaboración de los autores sobre la base de información oficial.

B. Complejidad económica y sofisticación de demanda

La Región del Biobío es la tercera más poblada del país con 1,6 millones de hab. (2019, estimación INE) y concentra casi un 9% de la población nacional. En términos de PIB regional, Biobío ocupa el cuarto lugar tras las regiones Metropolitana, Valparaíso y Antofagasta, y presenta indicadores de pobreza superiores al promedio del país con un índice de 12,3% v/s 8,6% (Observatorio Social, CASEN 2017). Sin embargo, en materia de inversión en investigación y desarrollo científico y tecnológico (I+D), Biobío se sitúa en segundo lugar nacional, lo cual se explica fundamentalmente por la tradición universitaria de Concepción con reconocidas capacidades para el desarrollo de la actividad científica, tanto básica como aplicada (CONICYT, 2019). Sin embargo, la última Encuesta Nacional disponible de I+D e Innovación, con datos de 2016-2017 muestra un magro desempeño de Biobío en materia de innovación empresarial, situándola en el lugar 14 entre 15 regiones con una tasa de innovación de 10,5% frente a una tasa promedio de 15,1% para el país (Ministerio de Economía, 2018)⁵.

Existe un marcado contraste entre el liderazgo de Biobío en inversión en I+D y su pobre desempeño innovador, especialmente en términos de innovación empresarial. Este desbalance refleja el declive en materia de complejidad económica de la región.

⁵ Tasa regional incluye a las actuales Regiones de Biobío y Ñuble.

Caracterizada por un vigoroso desarrollo industrial durante la segunda mitad del siglo pasado, Biobío ha sido testigo en las últimas décadas de sucesivas crisis en parte de sus industrias punteras como la siderurgia, petroquímica, pesca extractiva y metalmecánica, contrayéndose en consecuencia un número significativo de empresas y fuentes de empleo regionales. Asimismo, al examinar la matriz exportadora regional se aprecia una muy alta concentración en *commodities* como productos forestales, aceite y harina de pescado, que han predominado desde los años noventa, representando en la actualidad más del 90% del valor total de exportaciones regionales, que en 2018 alcanzó los USD 6.300 millones (Banco Central de Chile, 2019).

La combinación de las condiciones antes mencionadas, determinan condiciones de demanda poco sofisticadas para la industria manufacturera local. La mayor parte de esta industria está orientada más bien al mejoramiento operacional por costo-eficiencia y reposición o reparación de piezas y componentes de baja complejidad, por sobre la adopción de estrategias diferenciadoras con desarrollos o adaptaciones tecnológicas propias.

En cuanto a la penetración de Internet y dispositivos móviles, si bien la tasa de acceso ha aumentado significativamente en la región, de manera similar a la tendencia nacional, el uso de aplicaciones productivas de mayor sofisticación tiende aún a restringirse al segmento de empresas exportadoras y del sector de servicios. La Encuesta Longitudinal de Empresas de 2018 señala que, aunque un 90% de las pymes en Chile tiene conexión a Internet, su uso se limita a enviar y recibir correos electrónicos, solo un 40% de ellas tiene página web y un 27% realiza comercio electrónico.

La digitalización, que antes parecía un atributo extra para aumentar la productividad y las ganancias, hoy representa en gran medida un requisito de supervivencia para las empresas, en particular las manufactureras. Las pymes que comienzan a transitar por la ruta de la transformación digital necesitan, por una parte, conexiones de calidad y dispositivos tecnológicos adecuados (computadoras y servidores), y por la otra, soluciones digitales en diversos ámbitos del negocio, tales como procesos, gestión de proveedores y clientes, comercio electrónico, y ciberseguridad. En el caso de las pymes manufactureras, el desafío involucra de manera especial a la incorporación de TD 4.0 a sus procesos y productos.

A. Antecedentes

El término “Industria 4.0” se dio a conocer en 2011 como un enfoque para el fortalecimiento de la competitividad de la industria manufacturera de Alemania. Serían cuatro los elementos centrales y novedosos de la Industria 4.0: a) dispositivos inteligentes capaces de intercambio de información de forma autónoma, provocando acciones y controlar entre sí de forma independiente (*Cyber-Physical Systems*, CPSs), b) Internet Industrial o de la Cosas (*Internet of Things*, IoT), entendida como una red en la que CPSs cooperan entre sí, c) Internet de Servicios, IoS, que permite a los “proveedores de servicios ofrecer sus servicios a través de Internet y d) la fábrica virtual, definida como un sistema que trabaja en segundo plano que tiene en cuenta el estado en tiempo real de los procesos. Asociados a estos elementos aparecen una serie de tecnologías vinculadas, que, por su grado de madurez y necesidad, se catalogan como TD 4.0, entre ellas: Analítica de Datos, *Bigdata*, Inteligencia Artificial y *Machine Learning*, Computación en la Nube, Robótica Móvil, Realidad Virtual y Manufactura Aditiva (UNIDO, 2019). En general, todas aquellas tecnologías digitales adicionales al paradigma CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) de los 90s (Rembold et al. 1994).

Los procesos de adopción tecnológica han sido ampliamente estudiados en décadas previas (Burachik, 2000; Pérez, 2001), pero probablemente aún no lo suficiente para esta cuarta revolución. Un estudio de Friedrich-Alexander et al. (2018) muestra que la ventaja relativa, el apoyo de la alta dirección y la competencia afectan positivamente la adopción de la Industria 4.0. Al contrario, la incertidumbre ambiental tiene un efecto negativo. En un muy reciente estudio de Raj et al. (2020), en los países en desarrollo, la falta de estrategias públicas y la falta de estándares y regulaciones son barreras importantes para la adopción de TD 4.0

Un estudio de CEPAL sobre el uso de Tecnologías de Información y Comunicación (TICs) e Internet (CEPAL 2012) muestra el retraso relativo que la región tiene en cuanto a aplicaciones industriales por sobre la conectividad individual, penetración de redes sociales, e incluso comercio electrónico. El retraso de la región la sitúa muy por detrás de Europa, EEUU y las economías más dinámicas de Asia Pacífico. Estas brechas serían similares o incluso más profundas en la industria pyme manufacturera (UNIDO, 2019).

En la gran mayoría de los países en desarrollo, los esfuerzos en industrialización se han ralentizado debido a la prevalencia de la explotación de recursos naturales, y Chile no ha sido la excepción. En efecto, el caso chileno el retroceso de la industria de valor agregado está bien documentado (CORFO, 2017). Hasta ahora, la industrialización se ha centrado en las tecnologías de automatización (Industria 3.0) y, principalmente llevadas en sectores extractivos como el minero, forestal y energético, generando un tejido pyme ligado a estos sectores en tanto proveedores de servicios y componentes. Esta gran industria está paulatinamente iniciándose en TD 4.0. Este escenario representa muy fielmente el caso del Biobío.

Un diagnóstico (UBB-CORFO, 2018) realizado en 2016 a 100 pymes manufactureras de la Región del Biobío muestran una situación de obsolescencia tecnológica en todas las variables estudiadas, si se las compara con estándares de la Industria 3.0: diseño, gestión, automatización, incorporación de software. Otro estudio de 2012 del programa Foco In Biobío, llevado adelante por IRADE Biobío entre 2008 y 2012 con financiamiento BID-FOMIN, centrado en pymes metalmecánicas de la región, evaluó satisfactoriamente solo el uso de tecnologías CAD y CNC, y muy débil el uso de robótica, CAM/CAE, TICs

y Automatización. No obstante, y fruto de estos y otros diagnósticos, con apoyo de agencias públicas y universidades, un sector de pymes ha podido abordar la complejidad de las tecnologías digitales, presionadas por la necesidad de buscar nuevos mercados. Los procesos de adopción con apoyo público han estado concentrados en mejorar el acceso al conocimiento, la visualización de oportunidades, el diseño de prototipos y los vínculos con proveedores e instituciones de conocimiento.

B. Síntesis descriptiva de las pyme manufactureras incluidas en el estudio de campo

Entre los meses de febrero y mayo de 2020 se efectuaron 20 entrevistas en profundidad a pyme manufactureras establecidas en la Región del Biobío. Las entrevistas fueron semi-estructuradas, siguiendo la pauta acordada como parte de la investigación en las diferentes regiones latinoamericanas consideradas. Estas 20 empresas constituyen una muestra dirigida, según tamaño y capacidad estimada de gestión tecnológica y propensión a adoptar visiones y tecnologías propias de la Industria 4.0. El objetivo en esta investigación dirigida no es reflejar una situación promedio del segmento de pymes manufactureras regionales, sino más bien conocer las trayectorias, motivaciones, logros y dificultades en el proceso de adopción de TD 4.0 de aquellas empresas que ya las han incorporado o proyectan hacerlo en un futuro cercano.

Cuadro 4
Resumen de empresas encuestadas

Empresa	Tipo de empresa	Actividad principal	Antigüedad de la empresa	Nivel de ventas	Edad del líder	Nº de trabajadores
Número	Categorías: A: Equipos, dispositivos o sol. ingeniería B: Partes y piezas a pedido C: Fab. productos en serie		Tramos (años): A: 0-5 B: 6-10 C: 11-15 D: 16-20 E: 21 -25 F: 26 y +	Tramos (MM \$CL): 1: 0-70 2: 70-250 3: 250-500 4: 500-1.000 5: 1.000-2.000 6: 2.000-2.800 7: 2.800 y +	Tramos (años): 1: <25 2: 25-30 3: 31-40 4: 41-50 5: 51-60 6: 61 y +	Tramos: 1: 1-10 2: 11-25 3: 26-50 4: 51 y +
1	A	Equipos y soluciones ingeniería para la minería	C	4	4	2
2	A	Diseño e Implementación de automatizaciones y de Apps	A	1	3	1
3	A	Ingeniería, diseño, fabricación de máquinas y equipos madereros, y montajes industriales	B	4	5	2
4	A	Desarrollador y comercializador de tecnologías para la industria del aserrío	F	6	5	2
5	A	Diseño y fabricación de soluciones medioambientales para la industria maderera y portuaria	F	4	5	3
6	A	Fabricación de repuestos metálicos con procesos con arranque de viruta, y equipos menores	E	2	5	2
7	A	Diseño de ingeniería y fabricación de equipos menores y estructuras metálicas livianas	E	2	6	1
8	B	Fabricación de partes, piezas y repuestos metálicos con procesos de arranque de viruta	E	3	5	1
9	B	Fabricación de equipos para cosecha forestal. Servicio de mantenimiento y over-hall de torres de madereo y equipos relacionados	B	3	5	2
10	A	Dispositivos biomédicos	A	1	4	1
11	A	Diseño, Ingeniería y fabricación de secadores para maderas y equipos de transferencia de calor.	F	5	6	3
12	A	Diseño, ingeniería y fabricación de equipos en base a tecnología oleohidráulica para la industria.	B	3	4	1
13	B	Servicios de fabricación de repuestos y conjuntos mecánicos con tecnología CNC. Servicios de máquinas-herramientas.	F	3	6	2
14	A	Manufactura de productos electrónicos e iluminación IoT	D	7	4	3
15	C	Productor de molduras libre de nudos, para la construcción de viviendas	B	3	5	2
16	B	Fabricación de cuchillos para la industria del alambre, y fabricación de repuestos metálicos	D	3	5	2
17	A	Fabricación y Montaje de estructuras metálicas	E	7	5	4
18	C	Fabricantes de molduras y otros productos en base a madera seca para la construcción	D	5	5	3
19	A	Diseño y fabricación de estructuras metálicas para la industria forestal y pesquera	E	4	5	3
20	A	Diseño y fabricación de equipos forestales, servicios de mantenimiento industrial y de máquinas herramientas	F	5	6	4

Fuente: elaboración de los autores, sobre la base de la información recopilada en las entrevistas a empresas.

Empresa 1

La empresa 1 es una pyme de servicios de ingeniería, especializada en soluciones de mantenimiento experto par la minería. Tiene cerca de 15 años de antigüedad y actualmente factura aproximadamente USD 1 millón al año. Sus socios son profesionales del ámbito de la ingeniería, que al egresar de la Universidad decidieron formar la empresa, siendo incluso usuarios de la Incubadora de la Universidad de Concepción durante su etapa temprana. Desde su creación, esta empresa ha planteado su oferta de valor en términos de soluciones diferenciadas con desarrollos innovadores, generalmente contra requerimiento, *taylor made*. De esta forma la adopción de TD 4.0 ha sido asumida como una evolución natural en el tipo de soluciones ofrecidas.

El primer paso en la incorporación de tecnologías 4.0 fue hace algunos años, respondiendo a la motivación de sensorizar e incorporar IoT en sus productos, específicamente para obtener un mejor desempeño en materia de control operacional en equipos tales como correas transportadoras y dispositivos para molinos. Con posterioridad han adoptado la analítica de datos como una manera lógica de mejorar sus servicios con análisis y modelos predictivos. La opción es a través de servicios de computación en la nube contratados. Más recientemente han incorporado fuertemente impresión aditiva y el servicio de procesamiento de imágenes (o animaciones *render* en la nube), como herramientas de apoyo al prototipado de soluciones, a la labor de ventas, y además mejorando los tiempos de respuesta a los clientes, lo cual se considera un atributo competitivo crítico dado el nicho en que la empresa opera.

Un logro evidente de esta temprana adopción de TD 4.0 ha sido su posicionamiento como proveedor especializado en operaciones mineras. La empresa cuenta en la actualidad con 25 empleados, de los cuales más del 80% son profesionales o técnicos altamente especializados, en su mayoría menores de 40 años, al igual que los socios fundadores. Estos rasgos resultan determinantes al advertir la cultura organizacional de la empresa, muy proclive a la adopción de TD 4.0, lo cual no ha impedido realizar ajustes en la organización de sus procesos, en la medida que se internaliza el uso sistemático de las tecnologías ya mencionadas, especialmente aquellas asociadas a los procesos de la empre, cuya incorporación ha sido más tardía que aquellas más tempranamente adoptadas para integrarlas a los productos y a las soluciones ofrecidas.

Un rango distintivo de la empresa ha sido su organización interna para la toma de decisiones en materia de inversiones, donde han establecido de manera deliberada un balance entre la visión pro-tecnología de las gerencias general y de operaciones, con la visión de contención de exposición o riesgo financiero del área de Administración y Finanzas. Este balance ha permitido avanzar de manera progresiva con las inversiones tecnológicas necesarias, sin sobreexponer financieramente a esta pyme, que además por su nivel de ventas tiene un acceso relativamente acotado al financiamiento crediticio. La incorporación de una impresora 3D de alta gama es la inversión más importante realizada hasta la fecha, en tanto se optó por la modalidad la adopción como servicio del procesamiento de imágenes y *render*, lo cual, sin embargo, abre cierta preocupación en materia de ciberseguridad.

Reconocen tener cierta debilidad en ámbitos como vigilancia tecnológica y propiedad intelectual, que esperan subsanar propendiendo hacia una mayor colaboración con universidades locales. Uno de los desafíos futuros de la empresa es adaptar su modelo de negocios crecientemente a la modalidad de arriendo de equipos, lo que les permitiría empaquetar de manera más efectiva la mantención predictiva y la gestión de obsolescencia de los mismos.

La empresa ha hecho uso, de manera permanente, de instrumentos públicos de apoyo a la innovación, desde su gestación como parte de la primera generación de *startups* locales apoyadas por entidades con apoyo basal de CORFO, cuyo programa de apoyo a la red de incubadoras había comenzado pocos años antes. Con posterioridad la

empresa ha postulado y recibido apoyo en dos oportunidades a través de instrumentos para el pilotaje de innovaciones tecnológicas. La percepción de la empresa acerca de este tipo de mecanismos es muy positiva, destacando favorablemente el nivel de desconcentración territorial con que opera CORFO en esta temática, para efecto de seguimiento de los proyectos. Destacan asimismo las misiones tecnológicas al exterior, que les permitió generar contactos técnicos claves en China, y también el apoyo de espacios de *co-work* apoyados por Corfo para procesos de prototipado.

Los principales factores que destacan, favorablemente, del entorno local en Biobío es la presencia de universidades fuertes en materias tecnológicas y la disponibilidad de recursos humanos calificados, aunque reconocen enfrentar la dificultad de tener que entrenar a su personal en un mayor dominio de las diferentes TD 4.0, no siendo fácil encontrar oferta externa de calidad para este requerimiento.

Empresa 2

La empresa 2 es liderada por un ingeniero en automatización, egresado hace 4 años. Desde su creación, se orienta a la prestación de servicios de automatización de procesos por medio de la incorporación de soluciones tecnológicas que consideran componentes modernos y de fácil acceso e implementación. La empresa cuenta con 3 profesionales, todos ingenieros de diferentes especialidades (eléctrica y electrónica). De acuerdo a su nivel de ventas, se clasifica como microempresa del tramo 1, pero con proyectos que en ejecución que le permitirán en el corto plazo pasar a un tramo 2 de facturación.

Tecnológicamente, la empresa desarrolla soluciones para la operación y control de procesos de manera remota por medio de la utilización y manejo de sensores, y transmisión y procesamiento de datos administrados en aplicaciones, generalmente, descargables en teléfonos móviles. Entre los últimos proyectos realizados cuenta con un sistema de control de nivel de estanque de agua de un complejo industrial. Se trata de telemetría a gran distancia del centro de operación, disminuyendo los tiempos de reacción y de detención de operaciones, habiendo resuelto los problemas de transmisión de señales en zonas con presencia de motores y obstáculos físicos.

La principal barrera que han debido vencer ha sido la falta de conocimiento del mercado de TD 4.0 por parte de empresarios pymes, así como la falta de certeza sobre la eficiencia y confiabilidad de estas tecnologías. De igual forma, la empresa observa que no tiene las capacidades para adoptar TD 4.0 y que los costos frente a una falla pueden ser muy altas, ya que no disponen de socios a quienes recurrir, desconociendo el costo asociado a una reparación.

En opinión de su fundador, existe un mercado con potencial de rápida expansión relacionado a la automatización de procesos para apoyar la toma de decisiones e intervenir procesos desde teléfonos móviles. Por ello, las tecnologías de sensorización e IoT forman parte central de su oferta. Espera, además, que en el corto plazo este tipo de aplicaciones sea un requerimiento de los clientes a sus prestadores de servicios o proveedores. De acuerdo a la visión del gerente, los desafíos son variados, y van desde instalar con fuerza el concepto de TD 4.0 hasta generar los espacios para demostrar los beneficios de contar con estas herramientas para "que se entienda que es una inversión y no un gasto". Actualmente la empresa, en conjunto con universidades locales, se encuentra desarrollando un prototipo de scanner por visión multiespectral para el control de calidad de productos forestales.

La demanda por el mejoramiento de los procesos, el aumento de la productividad, el reemplazo operaciones rutinarias, la disminución de personal, y garantía de calidad, son las motivaciones para esta empresa.

Empresa 3

La empresa 3 es liderada por un profesional de la ingeniería mecánica con experiencia previa de 12 años como profesional de una gran compañía desempeñándose en las áreas de producción, mantención e mejoramiento de procesos. Su principal actividad es el diseño y fabricación de máquinas para la industria de la madera, con proyectos llave en mano de plantas industriales, principalmente aserraderos, remanufactura, y últimamente en plantas productoras de pellet para combustible industrial y domiciliario.

La empresa cuenta con una dotación de ingenieros para cubrir todas las áreas de diseño, tanto de máquinas como de plantas (*layout*). Como propuesta de valor incorpora TD 4.0 dentro de su oferta, mayoritariamente en la incorporación de sensores, IoT y procesos básicos robotizados. El entrevistado señala que la incorporación de TD 4.0 genera un elemento diferenciador que le permite al cliente contar con más opciones para la operación de equipos y además generar información para la toma de decisiones de manera oportuna. Ha visualizado que para el cliente es importante contar con las prestaciones asociadas a las TD 4.0, solo si son parte del equipo en el momento de su compra, posteriormente no están dispuestos a invertir en actualizaciones.

La empresa cuenta con un staff de profesionales estable, pero aumenta su dotación de ingenieros en atención a la magnitud del proyecto en ejecución. Cuenta con la infraestructura técnica de apoyo para el desarrollo de la ingeniería, con licencia de software para estos efectos, lo que no es muy común en las empresas del rubro. La incorporación de TD 4.0 en esta empresa es bastante usual, considerándolas como un elemento diferenciador de su oferta. En la organización existe alto conocimiento de las TD 4.0, pero no ven posible aún desarrollar herramientas de inteligencia artificial o *bigdata* ya que estiman que el mercado nacional todavía no está dispuesto a pagar por este tipo de desarrollos. Una de las dificultades que observan es la poca claridad que tienen los clientes sobre la necesidad de información que les interesaría obtener para realizar gestión. Esto hace que un aspecto diferenciador que agrega valor al producto ofertado no sea valorado por el cliente, no valorando todas sus prestaciones.

Empresa 4

Esta empresa posee representaciones de proveedores internacionales y desarrolla ingeniería para el mercado de la industria maderera, siempre contra demanda. Con más de 40 años de existencia y 12 trabajadores permanentes, la empresa en sus inicios comenzó comercializando insumos para el sector forestal para poco a poco, desde hace 10 años, comenzar a desarrollar proyectos de ingeniería estructural y mecánica complementarios a los equipos de sus proveedores. Es un líder nacional proveedor de aserraderos automatizados y máquinas de mantención de elementos de corte disponiendo además de una línea de servicios de repuestos e insumos, con negocios en países como Brasil y Uruguay. Sus clientes son, esencialmente, grandes empresas, pero también con segmento pyme en crecimiento.

El modelo de negocios de esta empresa se sustenta en el diseño e ingeniería para aserraderos, la provisión de máquinas de sus representados y la subcontratación de especialidades de construcción y montaje. A desarrollado proyectos propios vendidos en Chile y el extranjero como sistemas de clasificación de madera, alimentadores de calderas ente otros, utilizado sistemáticamente herramientas CAD o de ingeniería asistida. Su dotación de profesionales posee un alto conocimiento del negocio, interactuando permanentemente con sus socios extranjeros. En los últimos años, ha estado buscando nuevos espacios de mercado de manera de dotar a su oferta actual de un mayor nivel de "inteligencia" a tareas del tratamiento de datos y scanner especializados, iniciándose a

las TD 4.0 a través de la ingeniería de datos, *bigdata*, computación en la nube y sistemas de recomendación para custodia de procesos industriales.

Inicialmente, sus motivaciones surgieron de la necesidad de mejorar el servicio de postventa, mejorando la relación con los clientes y la calidad. Posteriormente, ha surgido la motivación de desarrollar una nueva línea de negocios basada en sistema inteligentes de recomendación de equipos industriales en operación. El objetivo es posicionarse como un referente, aprovechando el conocimiento disponible que tiene la empresa sobre la operación de aserraderos de alto estándar. El modelo de negocios para esta nueva línea se basa en la concurrencia de socios estratégicos provenientes de una universidad local con los que se había ya trabajado en proyectos anteriores más clásicos. La empresa nunca ha requerido de financiamiento público, financiando sus proyectos con recursos propios y la banca.

Los beneficios alcanzados con la adopción radican en mejorar la relación con sus clientes y mejorar la calidad de los servicios. Sin embargo, observan como obstáculo la falta de capital humano profesional propio en TD 4.0, que por su costo deben requerir de proveedores como la Universidad la que visualizan, no como competidor que sino como socio estratégico. Por último, manifiesta que un problema es también la falta de proveedores tecnológicos locales en ciertos productos y servicios específicos.

Empresa 5

La empresa 5 es una empresa con más de 25 años en el mercado, y su principal actividad es el diseño, ingeniería y fabricación de máquinas y equipos para la industria en general. Se encuentran dentro de su oferta, equipos para el ordenamiento de acopio de chips para la industria maderera, tornillos transportadores verticales para la industria papelera, filtros, cocedores, clasificadores, eliminador de vísceras y transportadores en general para plantas de la industria pesquera. Es liderada por un ingeniero mecánico con gran inquietud por mantener una oferta innovadora, tanto en el diseño como en las prestaciones y, últimamente, ha incorporado TD 4.0. Dado su nivel de ventas, esta empresa se encuentra dentro de la categoría 4 (mediana empresa). La empresa se ha caracterizado por la fabricación de equipos con adaptación a las realidades y necesidades de los clientes, tanto en tamaño como en productividad y cuenta con un equipo de ingenieros con los cuales desarrollan los diseños y la ingeniería. En el proceso de incorporación de las TD 4.0 han tenido de realizar alianzas con terceros externos a la empresa. Su más reciente desarrollo es un equipo para la industria portuaria que agiliza las operaciones de descarga de gráneles, con un control de las emisiones de polvo al ambiente, por medio de sistemas de sensorización y registro de procesos.

La empresa tiene una organización en base a una estructura departamental, donde el área de ingeniería cumple un rol central en la generación de soluciones para que sean atractivas a los clientes, y resuelvan y faciliten los procesos, incluyendo la entrega de información adicional para facilitar además la toma de decisiones. Esta diferenciación le ha permitido posicionarse en los mercados, siendo crecientemente contactados para desarrollos de soluciones a medida. De acuerdo a la opinión de la empresa, la incorporación de las TD 4.0 le ha generado una agregación de valor y diferenciación en su oferta, lo que le ha permitido mejorar los precios de los equipos. En el tiempo, la empresa ha visto que las TD 4.0 le han traído un doble beneficio. Por un lado la incorporación de prestaciones que le permiten al cliente tener el control y registro de los procesos de operación como horas trabajadas, productividad, tiempos de set up, etc., y por otra parte, esos mismos registros le permiten a la empresa confirmar la calidad del equipo vendido, e identificar los motivos de algunas bajas de efectividad, que generalmente son por operación más que por capacidad del equipo.

Las principales barreras que ha debido sortear, tienen relación con la experiencia y garantía de buen funcionamiento de los componentes tecnológicos que se utilizan,

desconociendo su eficiencia en distintos ambientes en que trabajan los equipos diseñados, debiendo endosar esta responsabilidad a sus proveedores.

Todos los diseños y desarrollos de la oferta de esta empresa, que incorporan TD 4.0, han sido realizados con fondos propios.

Empresa 6

La empresa 6 es una empresa con más de 16 años en el mercado, liderada por un técnico mecánico con gran experiencia y oficio en la industria metalmecánica. Presta servicios de diseño y fabricación de partes, piezas y repuestos metálicos para la industria regional, principalmente para embotelladoras y puertos. La empresa cuenta con una dotación de 14 personas, de las cuales 3 se ocupan de la administración. El personal técnico posee gran experiencia en máquinas herramientas y fabricación de estructuras metálicas livianas. La empresa se caracteriza por contar con un moderno parque de máquinas y equipos para sus procesos, máquinas CNC, lo que le permite desarrollar un gran espectro de servicios metalmecánicos. Actualmente, cuenta con una buena posición en el mercado dada por la calidad de sus productos, especialmente en la fabricación de piezas de alta complejidad geométrica. Su última inversión se realizó para un software de última generación para el control y operación de máquinas. Sus procesos son controlados tradicionalmente.

La cultura en la organización vinculada a TD 4.0 es muy débil. Para la empresa no han existido requerimientos importantes por parte de sus clientes que los inste a instalar estas capacidades. Actualmente, desarrolla su primera incursión en la incorporación de elementos de TD 4.0, consistente en un repuesto que agrega un sensor para medir deformación capaz de generar alertas al estar sometido a sobre-cargas. El desarrollo cuenta con el apoyo de una universidad regional en el diseño y validación técnica.

Dado su esquema de operación, la empresa participa activamente de programas de innovación con apoyo de instrumentos públicos, que, en opinión de su líder, le permite estar actualizada con nuevas tecnologías y de esta manera preparar la generación de nuevas ofertas para el mercado. No visualiza próximos desarrollos con TD 4.0 dada la dificultad de sumar las capacidades necesarias, lo que le genera inseguridad producto de la alta dependencia de profesionales externos en áreas de la ingeniería donde no tiene competencias. Respecto de sus desarrollos, estos se han realizado principalmente con fondos propios, teniendo experiencia en la adjudicación de fondos públicos en 2 oportunidades, el primero para la incorporación de equipamiento, y la segunda para el proyecto de la pieza con sensor de deformación.

El entrevistado visualiza que la entrada en TD 4.0 le permitiría salir de los servicios *commodities*, pero sienten la necesidad que este estímulo debe venir a solicitud de sus clientes y con el apoyo de ellos para realizar algunos pilotos.

Empresa 7

Esta empresa tiene 22 años en el mercado prestando servicios de diseño y fabricación de equipos y estructuras metálicas livianas (menos de 25 ton) para la industria del transporte y portuaria, por ejemplo cintas transportadoras móviles, carros escala, pisos elevados, sistemas de barandas, ciclones portátiles, entre otros, así como montaje y mantenimiento industrial. Es una empresa familiar liderada por el padre ingeniero mecánico y, hace 4 años, se incorpora el hijo, también de la misma profesión. Dado el nivel de ventas anuales, la empresa pertenece al tramo 2 (pequeña empresa), con una dotación de 7 empleados permanentes.

La empresa cuenta con una infraestructura tradicional, que le permite la fabricación de equipos en base a elementos estructurales livianos, donde incorpora mecanización y escasamente elementos de control y automatización. Hoy en día no tienen proyectos con la incorporación de TD 4.0, en atención a que no han recibido iniciativas ni solicitudes de sus clientes. Sin embargo, la participación del hijo le ha permitido a la empresa mejorar los procesos internos y diversificar la oferta, por medio de la actualización e incorporación de nuevas herramientas para la gestión y diseño de ingeniería. Visualizan la importancia de la incorporación de las TD 4.0, como una forma de ampliar su oferta y poder incursionar en otros mercados con soluciones materializadas en equipos, que mejoren la productividad y disminuya las horas hombre de exposición a riesgos de accidentes.

En atención a su participación en un programa con una Universidad de la región, han podido detectar oportunidades. Para el desarrollo de los equipos que tradicionalmente han fabricado para la industria portuaria, ven que las TD 4.0, le entregarán mayor autonomía y registro de procesos a estos equipos. Por ello, se encuentra en ejecución un proyecto que incluye sensorización, IoT e imagen por computación, contribuyendo significativamente a la disminución de las horas hombre de exposición a riesgos de accidentes, aumentando la productividad y disminuyendo los espacios para la realización de los trabajos. A la fecha se cuenta con el modelo conceptual, y se está postulando a un fondo público para el desarrollo del prototipo. Frente a esta iniciativa, la empresa ha visto un ligero rechazo de parte del cliente por un eventual aumento del precio de la solución planteada.

Al igual que otras empresas, el gerente, sin ser experto en el temas digitales, manifiesta que incorporar TD 4.0 les quita seguridad en la calidad del producto ofrecido y es un alto riesgo para dimensionar la valorización del servicio post-venta asociado.

Empresa 8

La empresa 8 tiene 20 años en el mercado, es una metalmecánica que produce partes, piezas y repuestos metálicos para la industria pesquera, industrial maderera y forestal, en base a procesos con arranque de viruta. Su líder, con más de 35 años de experiencia, es técnico en electrónica, profesión que nunca ejerció, privilegiando las máquinas herramientas. De acuerdo a su nivel de ventas, se encuentra en el tramo 3. Cuenta con una dotación de 8 personas, de las cuales 5 son egresados de liceos técnicos con especialidad metalmecánica. La administración se caracteriza por un estilo más bien conservador, con enfoque en los costos y con bajo nivel de innovación. Su mercado es la industria manufacturera de la macro región sur del país y sus productos podrían calificarse como *commodities*, en el entendido que hay muchos productores de los mismo, con una fuerte competencia por precios, lo que dificulta la diferenciación. La empresa cuenta con una buena dotación de máquinas herramientas, algunas con CNC.

En atención al mercado atendido y a los productos que se elaboran, la relación con las TD 4.0 se ha visualizado como una contribución al mejoramiento de sus procesos productivos. Por ello, la empresas se encuentra en la etapa de implementación de un modelo para el monitoreo de las máquinas en operación que permita conocer los tiempos reales asociados a la fabricación de cada pieza y, por medio de modelación matemática realice la planificación y asignación de máquinas, optimizando los tiempos de procesos y disminuyendo los tiempos muertos, aumentando así el factor de operación de la planta. Este desarrollo es un proyecto encargado en su totalidad a terceros externos, donde participa una universidad regional en el diseño del modelo y un equipo de profesionales del área de la automatización en su implementación.

La motivación asociada a este proyecto es mantener la competitividad en el mercado de la fabricación de estas piezas estandarizadas, disminuyendo sus costos y garantizando su calidad. Esto una forma de mantener los mercados y modificar el modelo de negocios, mejorando los tiempos de entrega.

Dado que sus capacidades están en los procesos mecánicos y en la operación de máquinas herramientas, no hay cultura ni conocimientos en la organización de las TD 4.0 y sus contribuciones, independiente de la formación del líder, quien tiene una edad sobre los 50 años.

El principal desafío de la empresa en el futuro cercano está dado por su capacidad de adaptación a un nuevo sistema de planificación de la producción, inducido por la adopción tecnológica en sus procesos. Este proyecto está a la espera de la obtención de fondos públicos para viabilizar su implementación.

Empresa 9

La empresa 9 cuenta con 9 años en el mercado orientando su actividad principal a la mantención y reparación de máquinas para cosecha forestal. Es una pyme que cuenta actualmente con 14 trabajadores y es liderada por su propietario quien cuenta con una amplia experiencia en estas actividades, producto de 17 años de trabajo como técnico mecánico en una empresa internacional distribuidora de equipos para la cosecha forestal en Chile.

El acercamiento o motivación de la empresa con la TD 4.0 comienza en los últimos años, producto de la llegada al país de equipos de cosecha con este tipo de tecnologías incluidas. De igual forma, producto de un acercamiento con una universidad regional y su participación en programas de difusión tecnológica, ha podido conocer los beneficios y alcances de estas tecnologías, motivándoles a generar e incorporar algunos desarrollos en su oferta, específicamente incluyendo sensores, actuadores y alternativas de control de operación remota. A futuro, y dados los requerimientos del mercado, por la seguridad de las personas en las faenas productivas, ha definido como prioritario el desarrollo de sistemas de detección de personas que se encuentran alrededor de las máquinas y equipos en el bosque, con una tecnología que permita el registro de las acciones inseguras. Visualiza en este desarrollo una fuerte participación de tecnologías de análisis y procesamiento de datos.

La empresa ha visualizado que los equipos de cosecha con TD 4.0 están teniendo cada día más participación, transformándose en una oportunidad para participar también en la mantención de esos equipos, por lo que es prioritario internalizarlas, para mantenerse en el tiempo.

Los obstáculos se visualiza tienen que ver con la selección e incorporación de capacidades para el diseño, desarrollo e implementación de la tecnología, ya que actualmente la empresa no cuenta con esas capacidades. Se suma a esta barrera, las condiciones ambientales donde operan estos equipos, para lo cual es necesario la realización de validaciones de las soluciones propuestas, que requieren de una mayor capacidad técnica y costos asociados. A nivel regional, no se cuenta con un apoyo experto confiable de parte de los proveedores de componentes o repuestos para estas tecnologías.

Empresa 10

La empresa 10 puede calificarse como una *startup* de base tecnológica, fundada recientemente (2018) dedicada al diseño y fabricación de dispositivos médicos, más específicamente al desarrollo de neuroestimuladores para pacientes con problemas de motricidad, o en fase de rehabilitación luego de accidentes cerebrovasculares o

neurológicos. Esta empresa es una de las dos de la muestra que aún clasifica como microempresa, de acuerdo a su volumen anual de ventas, lo cual se explica por el costoso y lento proceso de aseguramiento y certificación de calidad que requiere este tipo de dispositivos, en diferentes mercados. Prevén en todo caso alcanzar ventas este año o a lo sumo el próximo que les sitúen en el tramo 2 o 3, como pyme.

Su fundador es un joven investigador y académico con especialización postdoctoral en este tipo de desarrollos. Es por ello, y por el nicho de demanda al cual se orienta (personas discapacitadas o en rehabilitación) que, desde su gestación, la empresa ha basado su capacidad productiva y de innovación en las TD 4.0. La sensorización e IoT son consideradas tecnologías claves de sus productos, en tanto la manufactura aditiva más la inteligencia artificial como medulares para el proceso productivo y de innovación, respectivamente. Es interesante notar que conjuntamente a la impresión 3D, el factor diseño constituye un atributo crítico en el desarrollo de los productos, involucrando elementos como materialidad, usabilidad y resistencia, entre otros aspectos.

La empresa cuenta en la actualidad con 5 empleados, todos ellos profesionales y 4 de ellos con estudios en curso o finalizados de postgrado. Si bien la familiarización y dominio del personal de la empresa sobre las tecnologías digitales en general es bastante alto, no ha sido fácil integrar otras competencias medulares como el diseño industrial y la gestión de innovación. La primera se cubrió con la incorporación de un especialista en diseño digital, en tanto la segunda ha implicado entrenamiento ad hoc para todo el equipo.

La estrategia de desarrollo seguida por la empresa ha estado estrechamente vinculada a los proyectos que han asumido, con financiamiento de agencias públicas. Por una parte, han podido prototipar y pilotear modelos y variantes de sus dispositivos, y por otro lado la obtención de financiamientos basales para equipamiento del centro con el cual colaboran dentro de la Universidad, ha facilitado el uso y dominio de equipos más sofisticados que los de la propia empresa, para las fases más exigentes de prototipado y pilotaje. Por ejemplo, la fase de integración de productos, incluye el diseño de microchips cuya producción en fase de escalamiento, es normalmente encargada a proveedores especializados en China.

Advierten un desafío logístico, en materia de tiempos de respuesta dada la especificidad de las partes cuya producción deben encargar. Proyectan un importante crecimiento para situarse como pyme este año, al incorporar algunos servicios rutinarios dentro de su oferta a clientes institucionales, principalmente centros regionales de rehabilitación. Estos servicios se asocian a la teleasistencia y monitoreo remoto de la evolución de pacientes.

Uno de los principales desafíos que esta empresa ha encontrado para escalar su operación, es la ausencia de estándares y capacidad metrológica para certificar sus productos en el mercado nacional y eventualmente posicionarse en otros mercados de América Latina. La única opción es certificarse con estándares internacionales (UE o FDA) lo cual es un proceso más costoso y demandante en tiempos. Por otro lado, se reconoce la utilidad de los instrumentos públicos de apoyo a la innovación, si bien implican siempre un grado de incertidumbre respecto a su obtención. De hecho, la empresa se constituye en el marco de un apoyo de CONICYT (la actual Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo, ANID) a través de la línea de Valorización de la Investigación Universitaria, con apoyo de una Incubadora de la región, que es parte de la red de entidades apoyadas por CORFO. En términos financieros, aun no creen estar preparados como para presentarse a rondas de inversionistas en capital de riesgo, aunque prevén que en algún momento será la vía clave para expandir operaciones y alcanzar mercados externos. Otro factor identificado más bien como brecha es la baja sofisticación de la demanda nacional por este tipo de dispositivos, lo cual refuerza la necesidad de certificarlos bajo los estándares internacionales antes referidos.

Empresa 11

Esta empresa, de capitales locales y tamaño mediano, se dedica a la fabricación de secadores para madera. Cuenta con un promedio de 45 trabajadores y más de 20 años de existencia, su origen responde a la iniciativa de un académico de una universidad regional por satisfacer la creciente demanda por secado de madera de buen estándar tecnológico. Su fundador y actual líder es de formación ingeniero y con grado académico de doctor.

Apoyada en sus inicios con instrumentos tipo grant públicos para la innovación, hoy es una empresa consolidada en su nicho y con despliegue en Chile y varios países de América Latina, iniciando además negocios en EE.UU. Su estrategia está basada en desarrollos y propiedad intelectual propios que integra diseño mecánico y software. Hoy posee instalaciones de manufactura de tipo tradicional, pero incorporando de manera progresiva TD 4.0 en sus productos. Sus proveedores provienen del mercado internacional y solo para insumos menores muy específicos la empresa recurre a proveeduría local. Su competitividad se sustenta en la calidad y en la relación con sus clientes entregando soluciones de alta fiabilidad y eficiencia, con tecnología propietaria. Sus desarrollos patentados le han permitido bajar el costo de sus productos en cerca del 20% por la adopción de ingeniería de datos a base de sensores e Internet Industrial (IoT), centrándose el esfuerzo y *know-how* en los modelos de control de procesos que están en la base del diseño de soluciones propietarias que ofrece. En la actualidad el proyecto más relevante que incorpora TD 4.0 es el desarrollo de sistemas de control en tiempo real y análisis de gran volumen de datos. En un futuro espera avanzar hacia computación en la nube, por lo que se encuentra estudiando el tema.

Para la empresa, la principal motivación para la adopción de nuevas tecnologías TD 4.0 ha sido la mejora continua de sus productos para una óptima relación con sus clientes a fin de fidelizarlos en el tiempo. De igual forma, la capacidad y formación de su líder fundador ha motivado a esta empresa a instalar la innovación y cambio como parte de su quehacer, que se expresa en la conformación de un equipo profesional bien capacitado. Los beneficios señalados radican en el claro liderazgo nacional de la empresa y en su inserción en mercados externos altamente competitivos como Brasil y EE.UU.

Esta empresa identifica como obstáculos para incrementar la adopción de TD 4.0, en primer lugar, la falta de disponibilidad local de capital humano de nivel técnico intermedio, la cual señala como un factor crítico; asimismo menciona el poco apoyo público a iniciativas de consolidación empresarial y de internacionalización, que ha financiado con recursos propios y créditos. Agrega como un factor preocupante la incertidumbre respecto a la estabilidad económica en Chile⁶. El entrevistada indica su dependencia de la industria forestal maderera y de su dinamismo a futuro.

Empresa 12

La empresa 12 es liderada operacionalmente por su propietario, Ingeniero Mecánico de 48 años, con una oferta sostenida en el diseño, desarrollo y fabricación de soluciones motrices con base en tecnologías oleohidráulicas, como por ejemplo sistema para levantar espineles en la industria de la pesca artesanal denominados "chigres," sistemas de control de apertura y cierre de puertas para la gran minería accionadas con sistemas oleohidráulicos y de manera remota, entre otros. Se trata de una empresa pequeña, categorizada en el tramo 3 por su nivel de ventas, que cuenta con una dotación permanente de 7 trabajadores. Esta empresa se sustenta principalmente en el desarrollo de soluciones innovadoras

⁶ La entrevista fue realizada en enero de 2020, después del llamado "estallido social" de octubre de 2019.

incorporando TD 4.0 en su oferta considerando la sensorización, automatización e IoT. Esto le ha permitido participar en varios mercados (industrial manufacturero, pesquero, astilleros, minero, etc.) con soluciones de alto valor agregado.

Para los desarrollos que involucran el uso de TD 4.0, la empresa ha debido subcontratar servicios especializados, de preferencia a consultores individuales, con inevitables asimetrías de información producto del desconocimiento en aquellos contenidos específicos de los desarrollos requeridos por parte de sus empresas clientes. Los profesionales independientes incorporados para estos proyectos, suelen tener baja experiencia laboral, algunos incluso recién egresados de las universidades. Esto sumado al bajo apoyo técnico de parte de los proveedores de tecnología, ha afectado negativamente los tiempos de respuesta de las soluciones.

Con el tiempo y la experiencia se han superado algunas de estas dificultades, lo que les motiva a insistir en la incorporación de las TD 4.0 en proyectos futuros relacionados con propuestas de servicios de mantenimiento predictiva para empresas manufactureras, con sistemas de sensorización a distancia de manera remota y con el desarrollo de modelos matemáticos para análisis *big data* relativa al monitoreo de equipos. Esta propuesta de desarrollo futuro se logra producto de los resultados y la interacción cercana con sus clientes, principalmente compañías internacionales o de gran tamaño como la industria minera de Chile.

Las principales dificultades relacionadas con los productos desarrollados, es que son soluciones a medida, que pasan del diseño a la implementación, sin márgenes de tiempo ni recursos para prototipar y validar técnicamente los comportamientos, niveles de eficiencia, etc., lo que plantean pone en riesgo el prestigio de la empresa frente a los clientes en caso de que las soluciones no cumplan con las condiciones estimadas.

La empresa ha accedido a fondos CORFO de innovación en una oportunidad, lo que le ha permitido sacar al mercado una solución validada, con la cual reconocen haber tenido buena aceptación.

Empresa 13

La empresa 13 posee más de 30 años en el mercado, está categorizada como pyme por su nivel de ventas, cuenta hoy día con 14 empleados, y es liderada por su dueño de 60 años de edad, quien tiene una formación secundaria industrial completa en la especialidad de técnico mecánico de nivel superior.

Es una empresa dedicada a la fabricación de partes, piezas y repuestos mecánicos para la industria, principalmente forestal e industrial maderera, siendo sus principales clientes empresas prestadoras de servicios forestales. De igual forma cuenta con un parque de máquinas-herramientas compuesto principalmente con controladores CNC, donde se encuentran centros de mecanizados, tornos, fresadoras, escoplos y mesas de corte, con sistemas de plasma, chorro de agua e hilo (sumergido). Cuenta además con una planta de tratamientos térmicos y un sistema de escáner para ingeniería inversa.

Dados los servicios que presta, no considera las TD 4.0 en su oferta, pero se encuentra estudiando la posibilidad de automatizar algunos procesos internos para el control de la operación y para la administración de su bodega de materiales y herramientas. La empresa ha modernizado su parque de máquinas con apoyo de fondos públicos, permitiéndole también diversificar y modernizar su oferta por medio de la incorporación de estas tecnologías 3.0 (automatización principalmente). Como empresa familiar el líder manifiesta que será responsabilidad de sus hijos (ambos profesionales del área de la ingeniería) incorporar en la empresa y en la oferta las TD 4.0.

La principal dificultad con la que se ha encontrado, ha sido el desconocimiento de los alcances de las TD 4.0, lo que no le permite ver con claridad y seguridad el tipo de soluciones que se pueden realizar, así como identificar y buscar un profesional idóneo en esas materias. Visualiza como altamente riesgo para su negocio, depender de un tercero en una materia en donde no tiene conocimientos.

Empresa 14

La empresa 14 se dedica al diseño y manufactura de productos electrónicos, con un importante grado de especialización en luminarias LED sensorizadas y soluciones de iluminación para soluciones integradas tipo *smart city* o ciudad inteligente. La empresa tiene algo menos de 20 años de existencia y cuenta en la actualidad con una planilla de 42 empleados, de los cuales 39 son ingenieros electrónicos o informáticos, todos ellos egresados de las dos principales universidades de la Región del Biobío. Si bien el diseño y pilotaje de los dispositivos y soluciones integradas que ofrecen se desarrolla íntegramente en la empresa, la manufactura a mayor escala de algunos componentes se deslocaliza en una empresa china de tamaño muy similar, con la que desde hace años han establecido una estrecha alianza estratégica. Las ventas anuales se sitúan en torno a los USD 7,5 a 8 millones / año. La mayor parte de sus ventas se orienta al mercado nacional, y dentro de este principalmente sector público (servicios ministeriales y municipios) exportando de manera incipiente a los mercados de Perú y Estados Unidos.

El socio fundador constituyó esta empresa muy joven, al egresar de la carrera de Ingeniería Electrónica. Muy tempranamente incorporó tecnologías digitales como rasgo medular de su modelo de negocio. Específicamente automatización avanzada en el proceso de producción y sensorización en sus productos, para poco tiempo después incorporar decididamente IoT en ellos. Con el tiempo progresivamente su oferta inicial focalizada en luminarias eficientes y tableros de comando digitales, fue evolucionando hacia el concepto de *smart city*, incorporando analítica de datos para el desarrollo de algoritmos predictivos. Más recientemente, han incorporado manufactura aditiva como un proceso clave en ventas y relación con clientes. Consideran fundamental haber incorporado un gran nivel de diseño en sus productos gracias a la alianza establecida con una prestigiosa empresa de Estados Unidos en el rubro. A futuro visualizan como un desafío a abordar dentro de los próximos dos años, la incorporación de IA en su oferta. La trayectoria tecnológica revela una permanente motivación por sofisticar su oferta, consolidando una posición de liderazgo en un nicho de mercado nacional, para luego proyectarse internacionalmente.

La empresa ha crecido de forma ordenada, conforme se han ido consolidando en ciertos segmentos de demanda, mediante procesos de compra pública a nivel de municipios, ministerios y otras instituciones. Su modelo de negocios ha sido desde un comienzo *b to b*, vinculado a grandes empresas integradoras, sin embargo, recientemente han comenzado a abrir su oferta en segmentos *b to c*. Para avanzar en esta dirección ha sido clave fortalecer el diseño de sus productos, mediante una alianza estratégica, ya que este atributo nunca constituyó una competencia medular para la empresa. La incorporación de diseño de alto nivel en sus productos, alimenta también los planes de desarrollo exportador de la empresa.

Tal como señalan otras empresas incluidas en el estudio, el reclutamiento de capital humano especializado en tecnologías “duras” en Biobío ha sido perfectamente posible, y “natural”, considerando que, del staff de 42 empleados permanentes, 30 son ingenieros electrónicos y 9 ingenieros informáticos, todos ellos reclutados al egresar de las dos principales universidades de la región. Más difícil ha sido formar una cultura innovadora transversal a la empresa, por cuanto se reconoce que en general, los profesionales locales no cuentan con adecuada preparación en pensamiento de

diseño (*design thinking*) ni en gestión de la innovación. Consideran prioritario revisar las mallas formativas en Ingeniería para cerrar esta brecha.

La empresa valora el entorno local por la posibilidad que ofrece de reclutar capital humano calificado, si bien han optado por desarrollar al interior de la empresa un proceso de inducción formativa para atacar la debilidad formativa de sus ingenieros en innovación. Postularon y obtuvieron durante sus primeros cinco años de operación, varios *grants* desde instrumentos públicos para prototipar y pilotear soluciones innovadoras, sin embargo, reconocen que, en su actual estado, tales instrumentos pueden incluso representar un costo de pérdida de foco en términos de estrategia de negocio. En cuanto al financiamiento, valoran enormemente la relación que han construido con BancoEstado, entidad que los ha acompañado en su crecimiento, facilitándoles el acceso a capital de trabajo propio del tipo de proyectos y mercados en que la empresa opera. Finalmente destacan como uno de los principales escollos que han debido sortear en su desarrollo como empresa es la débil y deficiente regulación e institucionalidad de apoyo para soluciones inteligentes en materia de iluminación, tránsito y seguridad ciudadana, con paradigmas tecnológicos erróneos. Indican que Chile tiene un camino que recorrer aun en materia de marco normativo para alcanzar el estándar de países más desarrollados.

Empresa 15

La empresa 15 es una empresa del rubro de la madera, y está dedicada a la elaboración de molduras de pino radiata para la construcción de viviendas. Este es un proceso continuo que consiste en el procesamiento de madera de pino, seca al 12% de contenido de humedad, contempla la eliminación de los defectos y nudos, para luego ser unidas por medio de sistema denominado *finger joint*, y luego sometidas a un proceso de moldureado, que le da la forma a un perfil determinado. Este producto es usado en la construcción de viviendas y es demandado tanto por el mercado local, nacional como internacional.

De acuerdo al nivel de ventas, la empresa es categorizada como pyme (Tramo 3), y cuenta con 13 empleados para sus operaciones. En esta empresa, con procesos estandarizados de remanufactura de madera, no contempla incorporar TD 4.0 en sus procesos o productos. La empresa es liderada por un empresario con más de 40 años en el sector maderero, y el foco de la gestión se ubica en la eficiencia de los costos, por medio del aprovechamiento volumétrico de la materia prima, considerando que las incorporaciones de TD 4.0 para el mejoramiento de procesos solo aumentan los costos.

Sobre este punto, el empresario comenta que la actual tecnología TD 4.0 disponible para procesos de remanufactura, tiene un alto costo, que no es posible pagar dado el tamaño de planta o capacidad de producción que hoy tiene. Comenta, además: “creo que existe un espacio para que se desarrollen tecnologías de menor precio, pensando en empresas de bajos o medianos tamaños de producción (menos de 800M3/mes)”. Existe una falta de recursos financieros para la incorporación de la tecnología y además se desconoce los alcances y efectos en la productividad.

Esta empresa ha tenido un crecimiento progresivo, mejorando regularmente su parque de máquinas para el mejoramiento de la productividad y la diversificación de los productos ofertados, proceso que ha costado con recursos propios.

Empresa 16

La empresa 16 es una empresa familiar, administrada por dos hermanos, ambos con formación secundaria industrial completa relacionada con el área mecánica. Está dedicada a la prestación de servicios de máquinas-herramientas principalmente para

la fabricación de piezas y repuestos. Producto de su participación en el mercado de la industria del alambre y en atención a su capacidad innovadora, los últimos años crearon una línea de fabricación de cuchillos para esta industria con diseños propios. De igual forma han incursionado en el diseño y fabricación de distintos equipos utilizados en los procesos de esta industria contribuyendo al mejoramiento de la productividad de distintas estaciones de trabajo. En esta área, a solicitud de sus clientes, han debido incorporar algunas TD 4.0, específicamente de sensorización y automatización.

La empresa enfrenta hoy desafíos importantes, dadas las funcionalidades que sus clientes le están solicitando que incorpore en los equipos, tales como registros de variables asociadas a los procesos, transmisión y procesamiento a distancia de la data. Las dificultades de esta empresa para resolver estos requerimientos de sus clientes son el bajo nivel de conocimiento de los beneficios y los procesos asociados a las soluciones, el bajo nivel de contacto y relación con profesionales expertos en el área y el desconocimiento de los tiempos, costos y tarifas de este tipo de servicios. Esto sumado a la falta de conocimientos o parámetros para seleccionar profesionales idóneos. La empresa se encuentra intentando resolver esta situación por medio del acercamiento y participación en programas de transferencia tecnológica con universidades locales.

La empresa cuenta con una infraestructura de espacio físico y maquinarias bastante actualizadas, con personal de alta calificación y reconocimiento entre maestranzas locales de sus capacidades técnicas. Han evolucionado principalmente con capitales propios, accediendo en una oportunidad a beneficios con fondos públicos, para el mejoramiento de la línea de producción de cuchillos especiales.

Empresa 17

La empresa 17 cuenta con más de 25 años en el mercado, tradicionalmente dedicada a la fabricación de estructuras metálicas que superan las 150 Ton, participando en proyectos de inversión en todo Chile, atendiendo al sector de la minería, a la industria de la celulosa y el papel, empresas sanitarias y astilleros. Ha participado de la fabricación de edificios metálicos para la instalación de calderas de plantas de celulosa, plantas de molienda para la minería, y en la fabricación de embarcaciones de apoyo a las faenas acuícolas con capacidades de carga de más de 50 Ton sobre cubierta. Por su nivel de ventas se considera mediana, encontrándose en el nivel superior de esta categoría con una dotación de personal que bordea los 200 puestos de trabajo mensual. La empresa cuenta con una infraestructura que le permite comprometer una producción aproximada de 200 toneladas/mes de estructuras metálicas. Cuenta además con unidades de limpieza y pintado de metales. Como estrategia de desarrollo ha incorporado maquinaria de alta tecnología con sistemas controladores CNC. Cuenta además con software de apoyo para el diseño de estructuras y para la planificación de la producción.

La empresa es liderada por un ingeniero naval y cuenta con una dotación de personal con formación superior completa de las distintas áreas de la ingeniería. Dado el carácter no diferenciado de los productos que fabrica, existe una fuerte orientación a la gestión de los costos, pero a diferencia de otras empresas, en ésta se visualiza un interés por la incorporación de TD 4.0 como contributivas al mejoramiento de la gestión y la productividad.

Hoy se está incursionando en el diseño de sistemas que permitan monitorear en tiempo real la productividad y avances de las ordenes de trabajo. De igual forma, en algunas unidades de producción se están automatizando procesos, relacionados con el marcaje de las piezas, optimización de cortes, procesos de perforado de planchas, etc. Como desafíos de corto plazo se plantea la robotización de los procesos de marcaje y soldadura.

Respecto del crecimiento, la empresa lo ha abordado por medio de inversiones con capital propio en maquinarias de alta productividad y en dos oportunidades ha accedido a fondos públicos, permitiéndole el último de estos proyectos la instalación de una línea de granallado para el mejoramiento de servicio de pintado de estructuras.

Esta empresa cuenta con los conocimientos de las bondades de las TD 4.0, aun cuando en los últimos años reconocen avances más bien modestos en su adopción, debido a que han debido focalizar sus esfuerzos en proyectos altamente demandantes de atención y dedicación, pero muy conscientes que estas tecnologías aumentarán la calidad de su servicio, mejorando su relación con los clientes.

Empresa 18

La empresa 18 creada hace 17 años, se dedica a la fabricación de estructuras de madera para puertas de placas y sólidas, y de molduras nacionales, a partir de madera seca, con procesos de eliminación de nudos y uniones *finger joint*. De acuerdo a su nivel de ventas, se encuentra en el tramo 5, generando un promedio de 30 puestos de trabajo. Esta es una empresa que produce manufacturas primarias en la industria de la madera, principalmente productos para la construcción de viviendas, todos ellos con una dimensión y calidad estandarizadas. La empresa es liderada por un técnico mecánico, cuya orientación gerencial está en el mejoramiento y automatización de las máquinas, como una forma de conseguir una mayor productividad, y obtener una disminución de los costos de procesos. Su relación con las TD 4.0 radica principalmente en la incorporación de procesos de sensorización y automatización de máquinas tradicionales. Dada la característica del mercado en que participa, genera una baja innovación de productos, y la incorporación de tecnologías en otras áreas como la transmisión y manejo de datos o la robótica, no se visualiza como una herramienta que agregue valor a sus procesos.

La empresa cuenta con una dotación de 30 empleados, de los cuales 3 llevan la administración, otros 2 son ingenieros en la planificación y organización de la producción y los demás son operarios, algunos con el grado de técnicos, y otros con bastante experiencia que les permite desarrollar funciones de operadores de máquinas y de apoyo a las mantención y mejoras de éstas.

Existe un bajo nivel de conocimiento de las TD 4.0; reconocen que las mejoras que realizan a las máquinas tienen que ver con funciones mecánicas semi-automatizadas, asistidas con sensores, que permitan la realización de procesos repetitivos con menor dependencia de mano de obra. Los desarrollos que realizan son principalmente sistemas de alimentación de tablas, automatización de trazadores, aumentos de velocidad de encolado de tablas libres de nudos (*block*), entre otros.

Un desafío permanente de esta empresa es mejorar su competitividad mediante la reducción de los costos, a partir de mejoras en el rendimiento y autonomía operacional de las máquinas críticas en sus procesos. No visualizan una inversión asociada a la adopción de TD 4.0 como crítica para el mejoramiento de la gestión, sino que más bien lo ven como un gasto, y con el temor de la dependencia de terceros, que necesariamente deberían incorporarse a la empresa. Toda la inversión para incrementar su productividad ha sido financiada con fondos propios, y solo en una oportunidad accedió a un fondo público para la incorporación de una máquina. De igual forma, y de acuerdo a su planteamiento, "el mercado no valora la inversión en estas tecnologías, y aun no es una exigencia".

Empresa 19

La empresa 19 se dedica al diseño, fabricación y montaje de estructuras metálicas y equipos industriales, desarrollados de acuerdo a las necesidades de los clientes, atendiendo principalmente a la industria pesquera y forestal maderera de la región. La empresa es liderada por un Ingeniero en Pesca, con experiencia en plantas industriales productoras de harina de pescado. Ello le ha permitido fundar una empresa que en sus inicios se orientó a la prestación de servicios de mantenimiento y fabricación de equipos para la industria pesquera, primero con orientación a la sustitución de equipos importados y luego incorporando elementos innovadores para contribuir al mejoramiento de la productividad. En este ámbito se desarrollan secadores y cocedores para los procesos de producción de harina de pescado, mientras en el sector forestal desarrollan estructuras para viveros industriales.

La empresa cuenta con 45 trabajadores y con ventas anuales que bordean US\$1 millón (categoría 4). Su modelo de negocios se sustenta en una estrategia de diferenciación por medio de la incorporación de elementos innovadores a la oferta.

Esta empresa ha migrado desde la prestación de servicios al sector pesquero industrial a toda la industria, por medio de la incorporación de un área de diseño e ingeniería en la organización, que le ha permitido participar de los distintos mercados, principalmente regionales. La estrategia de diferenciación comienza en la oferta, por medio de propuestas de soluciones a la medida para los clientes, y luego en la redefinición de los procesos en busca de un mejoramiento de la productividad y disminución de los costos. En este concepto, y frente a una oportunidad comercial, la empresa decide incorporar un brazo robótico, con la idea de eficientar sus procesos de soldadura, y con esto aumentar y diversificar la oferta. En este escenario, la empresa se ve enfrentada a una serie de dificultades para lograr su objetivo, ya que no existía un conocimiento y capacidades en la empresa para la operación del brazo, por otra parte, el proveedor no prestó el apoyo para el buen funcionamiento, y por último la empresa no pudo vencer el mito de que estos equipos son para procesos repetitivos o grandes lotes de producción. Si bien esta es una experiencia poco agradable para la empresa, gracias al acercamiento con universidades regionales, y con el apoyo de académicos y alumnos de áreas de mecatrónica, se logra incorporar como "griper" o terminal del brazo, un sistema de corte por plasma, el que, asociado a un software de optimización de cortes de superficie, le permite utilizar el brazo como mesa de corte de planchas metálicas.

En el tiempo de su adquisición, este brazo robótico era una tecnología vanguardista, que contaba con muy poco respaldo técnico y capacidades locales para su operación y mantención, lo cual dificultó su adopción, en línea con las necesidades de la empresa.

Respecto de mejoras por medio de la incorporación de las TD 4.0 en la oferta, esto ha sido más recurrente, ya que el área de ingeniería considera estas tecnologías en el diseño de las soluciones ofrecidas, a fin de mejorar la relación con los clientes, y contar con una oferta tecnológicamente actualizada.

Empresa 20

La empresa 20 cuenta con más de 35 años prestando servicios de mantención industrial, maquinas-herramientas, ingeniería, diseño y fabricación de equipos y montajes industriales, atendiendo principalmente a la industria siderúrgica, de la celulosa y el papel, pesquera, astilleros, sanitarias y portuarias entre otras. En el diseño y fabricación de equipos, destaca la producción de equipos de apoyo a la cosecha forestal como trineumáticos con garras apiladoras, torres de madereo, harneros para chips, grúas de gran alcance para movimiento de troncos. La empresa es categorizada como mediana de acuerdo a su nivel de ventas, cuenta actualmente con 102 trabajadores y es dirigida por un ingeniero

mecánico con más de 75 años de edad, apoyado desde hace algunos años por su hijo de igual profesión (45 años) y 2 ingenieros mecánicos en el área de diseño de ingeniería, y técnicos de distintas áreas (eléctricos, electrónicos, oleohidráulicos, entre otros).

La empresa se ha posicionado en los últimos años en el diseño y desarrollo de equipos de apoyo a la cosecha forestal, incorporando TD 4.0 en distintas áreas temáticas como son la sensorización, la visión por computador, la transmisión de datos, *cloud computing* y operación remota, debiendo estos desarrollos superar condiciones adversas tanto geográficas como ambientales, ya que su operación ocurre en laderas de cerros, lejos de las zonas urbanas, por lo general con baja cobertura de conectividad digital. Para el desarrollo de estas soluciones, la empresa ha subcontratado servicios a terceros y ha solicitado también asistencia de las universidades locales.

La incorporación de las TD 4.0 en la oferta de la empresa, responde principalmente a su permanente observación de las tendencias tecnológicas, gracias a su activa participación en ferias internacionales, y a su cercanía con los clientes, quienes han manifestado la importancia de la agregación de valor que genera la incorporación de estas tecnologías, transformándose en el corto plazo en un requisito para la realización de algunos procesos industriales.

Como desafío en este ámbito, la empresa se ha planteado incorporar de manera permanente TD 4.0 en sus equipos, como contribución al aumento de su vida útil y al registro de datos de variables de operación de los mismos. Esta empresa cuenta con una política presupuestaria para el desarrollo de I+D, como una forma de mantener una oferta innovadora en el mercado, teniendo la oportunidad de acceder a fondos públicos en apoyo de dos desarrollos, lo que les ha permitido diseñar, prototipar y validar un equipo para la industria acuícola y uno para la industria forestal.

A continuación, se presenta una síntesis de características de la muestra de empresas encuestadas, conforme a su nivel de ventas, antigüedad, formación y rango etario del líder. Se aprecia una tendencia predominante de pymes lideradas por empresarios con formación universitaria y sobre 50 años. En términos de antigüedad de las empresas encuestadas se aprecia una amplia distribución.

Cuadro 5
Perfil de empresas encuestadas

	Ítems	Cantidad	Porcentaje
Empresas	Nº empresas encuestadas	20	100
Según nivel de ventas (MM\$)	Categoría: 1, 2 y 3 (menos de 500)	10	50
	Categoría: 4 y 5 (entre 500 y 2.000)	7	35
	Categoría: 6 y + (mas de 2.000)	3	15
Según antigüedad de la empresa	Menos de 15 años (Tramos: 1, 2 y 3)	7	35
	Entre 16 y 25 años (Tramos: 4 y 5)	8	40
	Más de 25 años (Tramo: 6)	5	25
Líderes de las empresas			
Según Formación	Formación universitaria	12	60
	Formación técnica	6	30
	Otras	2	10
Por rango de edades	Menores de 30 años (Tramo: 1 y 2)	0	0
	Entre 30 y 50 años (Tramos: 3 y 4)	5	25
	Mayores de 50 años (tramos: 5 y 6)	15	75

Fuente: elaboración de los autores, sobre la base de la información recopilada en las entrevistas a empresas.

La Región del Biobío tiene un significativo peso específico a nivel de la industria nacional siendo considerada uno de los polos industriales más importantes del país, destacando los sectores de manufactura, forestal y pesquero. Sus empresas pymes, actúan en el mercado, principalmente, como proveedoras de grandes empresas industriales y primario-extractivas, muchas veces por medio de la fabricación a pedido.

Todas las empresas consideradas en la presente investigación tienen experiencia industrial y han participado en proyectos de transferencia tecnológica, de ruedas de negocios, talleres, misiones tecnológicas, entre otros. La mayor parte ha participado más de alguna vez en proyectos o iniciativas asociativas, misiones empresariales y exposiciones conjuntas en ferias. Son empresas que buscan crecer y adaptarse oportunamente a los cambios en su entorno competitivo. Prácticamente todas ellas poseen capacidades de diseño de productos y soluciones tecnológicas, acorde a sus capacidades y nivel de sofisticación de oferta.

A. Categorías y enfoque TOE para tipificar grupos de empresas

Se entiende la adopción tecnológica como un proceso complejo dependiente de varios factores. El nivel de adopción de una tecnología por parte de una empresa no se limita solo al grado de madurez de la tecnología en cuestión que ella dispone, sino también a la organización de la compañía (tamaño, rol de los líderes o estrategia competitiva, entre otras), así como las condiciones externas ambientales.

En este estudio, se utiliza la metodología de análisis TOE (*Tecnología-Organización-Entorno*) definida por DePietro et al. (1990). TOE está entre los marcos de trabajo más usados en estudios de adopción tecnológica, ya que es mucho más genérico y permite la utilización de variados factores, haciéndolo muy adaptable a amplios contextos (Arnold et al. 2018).

Dada que las TD 4.0 se encuentran aún en una etapa de adopción temprana, es presumible que exista una importante variabilidad del nivel de adopción en las empresas estudiadas. Por ello, el objetivo es aquí poder identificar grupos o tipos de empresas según condiciones y patrones de adopción.

Bajo el marco TOE, se consideraron 12 categorías: 5 asociadas a la dimensión de tecnológica; 6 relacionadas con la dimensión organizacional; y una referida al entorno. El factor "Entorno" fue categorizado solo, desde la percepción de la empresa, respecto al soporte financiero (privado y público) externo.

La caracterización de las empresas estudiadas en torno a estas categorías, permite centrar el análisis por tipología de empresa y responder, para cada grupo, a un conjunto de preguntas de análisis y deducir las motivaciones, logros y dificultades del proceso de adopción de TD 4.0.

Las categorías consideradas fueron las siguientes:

1. Tecnología

Tipo de producción:

- a. Fabricantes de equipos, dispositivos o soluciones de ingeniería: Estas empresas han identificado un mercado de productos terminados que necesita ser más competitivo y está requiriendo nuevas “soluciones tecnológicas” para el mejoramiento de sus productos y procesos. Su oferta ha ido evolucionando, encontrándose aquí empresas de diseño de máquinas y equipos para la industria.
- b. Fabricantes de partes y piezas a pedido: En general, se trata de una oferta que responde a los productores de bienes de capital en su mayoría locales. Estos productos se fabrican contra pedido, en función de diseños e ingeniería aportada por el cliente.
- c. Fabricantes de productos en serie: Son empresas que fabrican series de productos con bajo nivel de sofisticación. También, estas empresas son los fabricantes de componentes intermedios con algún grado de repetición.

Oferta actual basada en TD 4.0, en productos o procesos internos:

- a. Disponen de una oferta basada en TD 4.0 incorporada en el proceso de producción y en los productos
- b. TD 4.0 incorporadas solo en el proceso de producción
- c. TD 4.0 incorporadas en la oferta de productos

Oferta futura que incorpore TD 4.0 en productos o proceso:

- a. Si, existe ahora y seguirá existiendo
- b. Si, no existe ahora, pero se incorporará
- c. No existe ahora y no evalúa incorporarlas

Tipo de TD 4.0 ligada a los datos, adoptada o por adoptar:

- a. Análisis de datos,
- b. Sensores y Automatización
- c. Computación en la nube y/o IoT
- d. Inteligencia Artificial (IA)
- e. a y b
- f. a, b y c
- g. a, b, c y d
- h. no tiene

Tipo de TD 4.0 ligados a los procesos de fabricación, adoptada o por adoptar:

- a. Manufactura aditiva y/o Ingeniería Inversa
- b. Robótica móvil
- c. Realidad virtual y/o simulación
- d. a y b
- e. b y c
- f. a, b y c
- g. no tiene

2. Organización

Motivación o interés del líder por incorporar TD 4.0:

- a. Poco o nada interés
- b. Existe un interés en incorporar las tecnologías digitales en su oferta tecnológica, más que en sus empresas como un mejorador de los procesos internos

Cultura organizacional de la empresa:

- a. Existe cultura digital y disposición a adoptarla
- b. Cultura parcialmente instalada y existen rasgos de resistencia al cambio
- c. No hay cultura y fuerte resistencia al cambio

Estrategia de soporte técnico de TD 4.0:

- a. Desarrollo propio *indoor*, con muy poco o nada de asistencia externa
- b. Desarrollo propio con apoyo externo de proveedores industriales y/o académicos
- c. Depende en gran medida de proveedores externos que aportan su expertise

Capital humano en TD 4.0:

- a. Dispone n de buen nivel de mano de obra de muy alta especialización a nivel profesional y técnicos operativos
- b. Buen nivel y alta especialización a nivel profesional y bajo nivel de técnicos especializados
- c. Dificultad de disponer, en general, de capital humano especializado

Conocimiento de TD 4.0 del o los líderes:

- a. Alto conocimiento, respecto a la media
- b. Nivel medio de conocimiento, con ciertos vacíos en sus beneficios y oportunidades de negocio
- c. Desconocimiento de las nuevas tecnologías. Los empresarios no tienen claridad de los alcances y beneficios de cada tecnología digital

Segmento etario de líder o líderes de la empresa:

- a. Líderes menores a 50 años
- b. Líderes mayores a 50 años

3. Entorno

Tipo de financiamiento utilizado para iniciativas basadas en TD 4.0:

- a. Financiamiento propio, a nivel de capital de trabajo, con endeudamiento con instituciones financieras, con ningún financiamiento de agencias públicas
- b. Financiamiento propio y algo de subsidio público, pero principalmente lo primero
- c. Fuerte subsidio público y menor inversión propia
- d. Principalmente con aporte capital externo vía *equity* o capital de riesgo, no público

B. Análisis y tendencias a partir de las respuestas por categoría

En términos de sus patrones de adopción de TD 4.0, el conjunto de casos examinados en Biobío revela, al margen de las singularidades propias de cada empresa incluida en la muestra investigada, una clara diferenciación entre ellas, evidenciando ciertas tendencias que pueden explicar esta diferenciación. Una muy clara parece ser el vínculo del segmento etario del líder de la empresa. La muestra de empresas examinadas revela una alta correlación entre aquellos empresarios menores de 50 años y el mejor desempeño relativo de sus empresas en la incorporación de este tipo de tecnologías. Probablemente no sea solo una cuestión de formación profesional, sino también de cultura digital lo que prima en este caso, permeando así las estrategias de negocio, y su capacidad de adopción de tecnologías digitales. Las empresas 1, 2, 3, 10, 12 y 14 representan fielmente esta correlación.

Un segundo elemento relevante respecto a los beneficios y motivaciones observadas se vincula al tipo de mercados que enfrentan las pymes examinadas. Aquellas orientadas a la fabricación de equipos, dispositivos o soluciones de ingeniería de mayor complejidad relativa, muestran una mayor propensión a adoptar TD 4.0, motivadas, según reconocen sus líderes, por alcanzar una mayor diferenciación de su oferta en el mercado mediante captura de *know-how*, es decir incorporan explícitamente en sus estrategias competitivas la absorción de tecnologías digitales como factor diferenciador y a la vez de agregación de valor en sus productos. Las empresas de la muestra que adoptan este tipo de estrategias pueden enfrentar desafíos organizacionales internos, como la resistencia al cambio que conlleva la adopción de estas tecnologías, así como ciertas condicionantes para desarrollar prácticas de cooperación con proveedores locales e incluso centros tecnológicos, por temor a la filtración de información y *know-how* sensible. Las empresas 4, 5, 6, 7, 9 y 11 responden a esta tendencia, al igual que las ya referidas con liderazgos etarios menores de 50 años.

En contraste, aquellas empresas que fabrican partes y piezas a pedido para la industria local, más bien de baja complejidad manufacturera, tienden a identificar mayores obstáculos tecnológicos y organizacionales. Los liderazgos, si bien abiertos a incorporar estas tecnologías, no están del todo decididos a abordar los desafíos que plantean tales obstáculos. Las empresas 8, 13, 15, 16 y 18 de la muestra se acercan a este patrón.

Otro rasgo tendencial observado en la mayoría de las empresas entrevistadas es que la incorporación de TD 4.0 se ha concentrado preferentemente en su oferta de productos, antes que, en sus procesos, posiblemente debido a la estructura productiva de la región, liderada por grandes empresas forestales, petroquímicas y siderúrgicas, ya que, en cierta medida y progresivamente, ellas han comenzado a requerir soluciones “inteligentes” a sus proveedores locales. Finalmente, es interesante observar que las empresas que lideran los procesos de adopción tecnológica no indican como un obstáculo relevante el acceso al financiamiento, reconociendo en la mayoría de los casos un crecimiento bastante progresivo y prudente de la mano de contratos y proyectos adjudicados que lo han permitido. Por otra parte, si bien la mayoría de ellas reconocen ser o haber sido usuarias de cofinanciamientos no reembolsables otorgados por agencias públicas, no señalan estos apoyos como un aspecto crítico, salvo algunas de las más altamente tecnificadas de la muestra, que lo reconocen como soportes relevantes durante sus primeros años de operación.

El cuadro siguiente presenta la síntesis de respuestas por empresa, según las categorías descritas más arriba.

Cuadro 6

Síntesis de respuestas por categoría TOE

Empresa/Categoría	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
E1	a	a	a	f	a	b	a	b	b	a	a	b
E2	a	c	a	f	g	b	a	a	a	a	a	a
E3	a	c	a	b	g	b	a	a	a	a	a	b
E4	a	c	a	a	g	b	b	b	b	b	b	b
E5	a	c	a	b	g	b	a	b	b	b	b	a
E6	b	c	b	b	g	b	b	c	c	c	b	c
E7	a	c	b	b	g	b	b	c	b	b	b	c
E8	b	b	b	a	g	b	b	c	b	c	b	c
E9	b	c	b	b	g	b	b	c	c	c	b	a
E10	a	a	a	g	f	b	a	a	a	a	a	b
E11	a	c	a	e	g	b	a	a	b	a	b	b
E12	a	c	a	e	g	b	a	b	a	a	a	b
E13	b	b	a	h	a	b	b	c	c	c	b	b
E14	b	a	a	g	f	b	a	a	b	a	a	b
E15	c	b	c	h	g	a	b	c	c	c	b	c
E16	b	b	b	h	g	b	b	c	c	c	b	b
E17	a	a	a	e	b	b	a	a	b	b	b	b
E18	c	b	c	h	g	a	c	c	c	c	b	b
E19	a	b	c	b	b	b	b	c	c	c	b	d
E20	a	a	a	f	d	b	b	b	b	b	b	b

Fuente: elaboración de los autores, sobre la base de la información recopilada en las entrevistas a empresas.

A continuación, se presenta una descripción de las tendencias marcadas por las respuestas más frecuentes para cada categoría:

1. Tipo de producción

En general, las pymes manufactureras pertenecen mayoritariamente al sector metalmecánico, sector que ha sido clave en la economía de la Región del Biobío. La mayoría de ellas ha ido evolucionando hacia productos de mayor complejidad y han adoptado tecnologías avanzadas de manufactura como CNC y CAD/CAM. Se trata de empresas fabricantes de partes y piezas y, las menos, fabricantes de equipos, todas fuertemente basadas en elementos metálicos. Algunas de ellas han basado su producción en un flujo por pedidos de productos unitarios o series muy bajas. Las empresas entrevistadas han logrado un alto grado de especialización en manufactura tradicional y son proveedores de sectores tractores de la economía regional y nacional como el sector forestal, pesquero, acuícola y minero.

A este grupo de empresas manufactureras locales, que en general evidencia trayectorias de sofisticación, con diferentes motivaciones y dinámicas, se han agregado en los últimos quince años empresas con mayor nivel de especialización y complejidad tecnológica en su oferta, que suma componentes electrónicos e informáticos desde su creación. Están orientadas a la producción de dispositivos, equipos, componentes especializados y soluciones integradas. Este segmento de empresas ha abordado la adopción de TD 4.0 como un proceso natural de sus estrategias competitivas, a nivel tanto de productos como de procesos.

2. Oferta actual basada en TD 4.0, en productos o procesos internos

Mayoritariamente, las pymes de mayor antigüedad entrevistadas que han incorporado TD 4.0 lo han hecho como respuesta a la motivación de generar un elemento diferenciador en su oferta de productos, siendo apoyadas la mayoría por profesionales externos, mediante subcontratos para desarrollos específicos. De acuerdo a lo que han manifestado, se deja en evidencia que esta es una etapa de transición, ya que estas tecnologías son cada vez más parte permanente de la organización.

A las empresas fabricantes de partes y piezas mecánicas estándar les resulta difícil incorporar en su oferta TD 4.0. Las adopciones han estado esencialmente al mejoramiento de sus procesos. En contraste, la incorporación más vigorosa de TD 4.0 en la oferta de productos, se observa con nitidez en aquellas empresas creadas en este siglo, con oferta tecnológica vanguardista y líderes fundadores menores de 50 años.

3. Oferta futura que incorpore TD 4.0 en productos o proceso

Existe conciencia que las TD 4.0 deben estar en la oferta futura de las pymes. De acuerdo a las respuestas, las pymes locales entrevistadas lo ven como un proceso ineludible para mantenerse vigentes y como una manera de mejorar su competitividad.

Según lo expresado por los entrevistadas, las TD 4.0 deben estar presentes en la oferta futura. El gran desafío, no solo es identificar estos elementos tecnológicos, sino adaptarlos para el diseño e implementación de una nueva oferta. En muchos casos esto significa la incorporación de nuevas capacidades en la empresa, pero existe un desconocimiento de los aspectos técnicos, alcances, bondades, tiempos de desarrollo y costos asociados. Lo anterior conlleva un grado de incertidumbre en los líderes para realizar un control efectivo sobre los nuevos recursos humanos y físicos. A pesar de ello, ninguna empresa ha dejado de considerar las TD 4.0 en su oferta futura.

4. Tipo de TD. 4.0 ligadas a los datos, adoptada o por adoptar

Las empresas encuestadas, tanto aquellas orientadas a la manufactura de equipos, dispositivos y componentes tecnológicas sofisticadas, como también las metalmecánicas orientadas a partes y piezas especializadas, validan el uso de sensores y automatización como vía primera de adopción de tecnologías digitales. Cinco de las empresas de la muestra han incorporado sensores en sus procesos y algunos casos esa introducción se extiende a los productos. Otras cuatro han desarrollado avances complementarios en materia de análisis de datos a fin de desarrollar modelos predictivos o rutinas de aprendizaje de máquinas. Otras empresas ya han sofisticado este tipo de TD 4.0, introduciendo computación en la nube y avanzando hacia desarrollos de inteligencia artificial. Sólo una de las empresas encuestadas no ha adoptado aún ninguna de estas tecnologías. Se aprecia una clara trayectoria de aprendizaje en esta materia, resultando muy determinante el perfil y formación del líder y su capacidad de incorporar recursos humanos con preparación.

5. Tipo de TD 4.0 ligadas a los procesos de fabricación, adoptada o por adoptar

Para el tipo de tecnologías de fabricación digital, se aprecia una fuerte polarización de casos, situándose la mayoría de las empresas encuestadas sin ningún tipo adopción y solamente cuatro con adopción, en dos niveles: dos de ellas, básicamente acotadas a la manufactura aditiva para prototipado de productos y soluciones, como apoyo a su proceso de ventas; y otras dos que las han adoptado de manera más integral, incluyendo robótica avanzada y realidad virtual. El uso de manufactura aditiva e ingeniería reversa es aún incipiente para el conjunto de empresas.

6. Motivación o interés del líder por incorporar TD 4.0

La principal motivación es sin duda la búsqueda de nuevos negocios o la fidelización de los clientes existentes por fiabilidad y eficiencia de los productos, mejorando la relación con sus clientes actuales. Para las empresas entrantes la motivación es ser reconocidas en un nicho de mercado tecnológico y ganar nuevos clientes. Existe la motivación de generar nuevas ofertas que no solo signifique mantenerse vigentes en los actuales mercados, sino que, además, les permita subir en el nivel de complejidad, alejándose del servicio o productos de baja complejidad manufacturera. Esto podría significar para algunas pymes producir un cambio respecto a la facilidad que hoy tienen los mandantes en la determinación de los precios de la demanda, accediendo a un mejor margen en la comercialización. También se registra como motivación el que la incorporación de TD 4.0 dinamiza la cultura organizacional hacia un proceso continuo de innovación y mejoramiento.

7. Cultura organizacional de la empresa

En general las empresas encuestadas con líderes cuya edad es mayor a 50 años suelen enfrentar en diferentes medidas y expresiones dificultades para incorporar los cambios. Es un hecho que la transición hacia la Industria 4.0 tensiona la organización, incluso aquellas con cultura innovadora y gestión tecnológica sofisticada. La muestra de empresas muestra un alto nivel de disposición por parte de las empresas encuestadas hacia la adopción de TD 4.0. No obstante, en la mitad de las empresas se reconoce algún grado de resistencia al cambio. Este dato es relevante por cuanto las empresas encuestadas responden a un perfil abiertamente afín a la adopción de estas tecnologías.

8. Estrategia de soporte técnico de TD 4.0

La casi totalidad de las empresas ha usado asesoría externa en sus proyectos, principalmente proveniente de universidades. Aquellas con una proporción mayor de desarrollo interno, disponen de capital humano calificado. Existe un número importante de entrevistados que manifiestan estar vinculados a las universidades de la región, las conocen y han participado en iniciativas conjuntas como misiones tecnológicas, programas de difusión tecnológica y proyectos de transferencias tecnológica. Sin embargo, muy pocas han desarrollado proyectos de I+D conjuntos. Probablemente, esto último se deba a la falta de personal contraparte calificado que trabaje con los asesores y a la falta de empoderamiento técnico de los líderes de esas empresas. En un conjunto muy reducido de empresas, la acción de I+D ha quedado reservada para el desarrollo "indoor" con recursos humanos propios.

9. Capital humano en TD 4.0

La mayoría de las empresas encuestadas revelan tener algunas o muchas dificultades para encontrar recursos humanos bien preparados profesional y técnicamente. Una parte de ellas destacan, además, que tales dificultades se agudizan al momento de reclutar trabajadores con perfil de formación técnica. A pesar de la amplia oferta local de profesionales y técnicos formados en las universidades, institutos y centros de formación en la región, no les resulta fácil encontrar personal técnico con competencias laborales acordes al uso de TD 4.0. Tampoco les resulta fácil encontrar oferta formativa o de capacitación en el medio local para cerrar tales brechas. Las principales instituciones formativas y de capacitación técnica del país están presentes en el Gran Concepción y están iniciando lentamente su oferta sistemática de capacitación relativas a TD 4.0.

10. Conocimiento de TD 4.0 del o los líderes

En aquellas empresas de líderes con conocimiento medio o alto en TD 4.0 se observa una mayor cultura organizacional proclive a los cambios. Esto se da generalmente en segmentos etarios menores a 50 años. El nivel de conocimiento se puede diferenciar en las tecnologías mismas y en las oportunidades de uso de ellas. En el primer caso, los líderes participan en el desarrollo y actúan como contrapartes de asesores externos. Por su parte, el conocimiento sobre las oportunidades que se da en la inmensa mayoría de las empresas, si bien permite visualizar la adopción, no lleva inmediatamente al desarrollo de soluciones propias de la empresa, constituyéndose en una debilidad. Existen empresas con cierto liderazgo digital que disponen de capital humano capacitado, logrando una capacidad instalada propia y, otras, que deben “adquirir” esas competencias desde fuera.

11. Segmento etario de líder o líderes de la empresa

Resulta significativo este factor. En efecto, aquellos líderes de menos de 50 años, que se formaron total o parcialmente en la cultura digital, comprenden la importancia de la nueva revolución digital y hacen esfuerzos por adaptarse. Este segmento ha sido proactivo al acercamiento con las universidades, en talleres, cursos de capacitación y otras actividades. El otro segmento, mayor a 50 años, en general es más reactivo y, si bien procura incorporar mejoras a sus procesos y productos, se aproxima con mayor cautela a las TD 4.0, habitualmente con apoyo de asesoría externa.

12. Tipo de financiamiento utilizado para iniciativas basadas en TD 4.0

Una proporción de las empresas entrevistadas muestran una clara tendencia hacia un modelo de financiamiento propio, con relaciones maduras y de confianza con entidades bancarias y concurrencia, en menor medida, de subsidios o *grants* de instituciones públicas, tales como CORFO o su comité en la región, antes llamado Innova Biobío, hoy Comité de Desarrollo Productivo Región del Biobío. Solo tres de ellas reconocen un papel determinante de mecanismos públicos de subsidio y, coincidentemente, ninguna de ellas pertenece al grupo de empresas con mayor nivel relativo de adopción de TD 4.0. Resulta asimismo interesante constatar que ninguna de las empresas de la muestra ha captado financiamiento desde fondos de inversión de capital de riesgo, lo cual es consistente con el bajo despliegue territorial de esta industria fuera de Santiago.

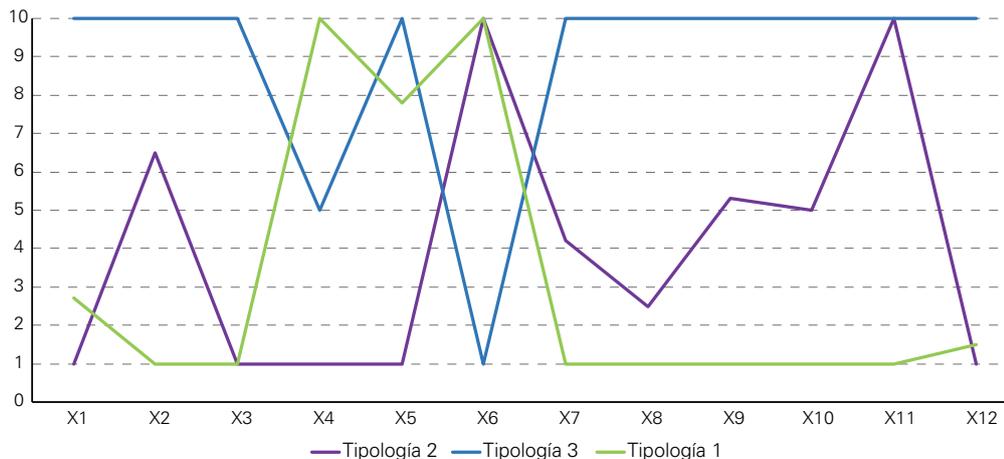
Aquellas empresas con mayor avance relativo en adopción de TD 4.0 reconocen haber recurrido a apoyos de CORFO o similares solo en sus inicios, para después desarrollar relaciones de cercanía con bancos que entienden sus ciclos, conocen estas empresas y confían en ellas. Cuentan con líneas de calce financiero de corto plazo importantes (en algunos casos superior a USD 1 millón), vinculadas a proyectos o soluciones customizadas que requieren ingeniería conceptual de alto valor y también con capital de trabajo para el desarrollo de una solución o primer ciclo de producción estandarizada.

C. Agrupación y tipología de empresas según condiciones y dinámica de adopción de TD 4.0

Usando el método de *K-Means*, se identifican, a partir de las respuestas a las doce categorías de análisis consideradas, tres grupos o tipologías de empresas claramente diferenciados. *K-Means* es un método de agrupamiento (*clustering*) que tiene como objetivo la partición de un conjunto de n observaciones en k grupos en el que cada observación pertenece al grupo cuyo valor medio es más cercano (Hartigan et al. 1979).

Las 20 empresa son asignadas a cada una de las tipologías. El gráfico 1 muestra la línea de distribución de categorías por cada tipología. Los valores de la abscisa son valores normalizados referenciales según el método *K-Means*. El cuadro 7 presenta la asignación de tipología por empresa.

Gráfico 1
Tipologías de empresas encontradas según categorías
(Verde: tipología 1; Azul: tipología 2; Celeste: tipología 3)



Fuente: elaboración de los autores, sobre la base de la información recopilada en las entrevistas a empresas.

Nota: X1: Tipo de producción, X2: Oferta actual de basada en TD 4.0, en productos o procesos internos, X3: Oferta futura que incorpore TD 4.0 en productos o proceso, X4: Tipo de TD. 4.0 ligada a los datos, adoptada o por adoptar, X5: Tipo de TD 4.0 ligados a los procesos de fabricación, adoptada o por adoptar, X6: Motivación o interés del líder por incorporar TD.40, X7: Cultura organizacional de la empresa, X8: Estrategia de soporte técnico de TD 4.0, X9: Capital humano en TD 4.0, X10: Conocimiento de TD 4.0 del o los líderes, X11: Segmento etario de líder o líderes de la empresa, X12: Tipo de financiamiento utilizado para iniciativas basadas en TD 4.0.

El ejercicio de agrupamiento con la metodología K-Means arroja una clara diferenciación de tres patrones en los cuales el tipo de producción y el segmento etario de líder de la empresa parecen correlacionarse muy directamente con el conocimiento y motivación por adoptar TD 4.0. Estos tres patrones permiten conformar la siguiente tipología para la muestra de empresas considerada:

Tipología 1. Empresas con condiciones favorables y patrones dinámicos para la adopción

Esta tipología agrupa a empresas fabricantes de equipos y soluciones integradas con componentes digitales y disponen de una oferta actual y futura con TD 4.0 en procesos y productos ligada, tanto a la captura y uso de datos como a la manufactura inteligente. Poseen una cultura digital, incorporan análisis de datos, sensores y automatización e IoT, buen nivel de capital humano, alto conocimiento y nivel de formación respecto a la media, desarrollo propio principalmente y financiamiento propio y público mediante fondos de innovación. Las 6 empresas, cuyo patrón de adopción de TD 4.0 corresponde a esta tipología, comparten el rasgo de contar con liderazgos en el segmento etario menor a 50 años.

Tipología 2. Empresas con condiciones intermedias y patrones en desarrollo para la adopción

En la segunda tipología se sitúan empresas fabricantes de equipos que han incorporado TD 4.0 en sus productos, con cultura digital recientemente adoptada, desarrollos con ayuda externa y nivel de conocimiento y familiaridad con las TD 4.0 que puede ser calificado en rangos intermedios. Son líderes con experiencia en manufactura con buen nivel técnico y profesional, pero que deben adaptar su organización al enfoque digital. Son empresas cuya ruta de adopción de TD 4.0 responde fundamentalmente al desafío de enfrentar demandas cada vez más sofisticadas desde industrias como la forestal, minera o construcción y que reconocen beneficios con la incorporación de estas tecnologías. En general, su aproximación a las TD 4.0 se inicia con experiencias de sensorización de productos, y tecnologías vinculada a captura de datos. La adopción normalmente es llevada a cabo con ayuda de asesoría experta externa a las empresas. Las 5 empresas con este patrón de adopción tecnológica son lideradas por profesionales senior, mayores de 50 años.

Tipología 3. Empresas con condiciones incipientes para la adopción

En esta tercera tipología se sitúan fabricantes de equipos tradicionales, estructuras, manufacturas de madera de baja complejidad, así como de partes y piezas estandarizadas. Si bien en general han avanzado en la incorporación de tecnologías de programación y en, algunos casos, incluso automatización de tareas o procesos, su adopción de TD 4.0, es aún muy incipiente. No obstante, todas ellas admiten que piensan incorporarlas como elemento estratégico de sus negocios en el futuro. En general, en esta tipología se encuentran empresas interesadas en diversificar su oferta, con una cultura parcialmente instalada y cierta resistencia al cambio dentro de sus organizaciones. Enfrentan dificultades para disponer de capital humano especializado y equipos de trabajo, por lo que visualizan la necesidad de fuerte apoyo externo en sus procesos de adopción. Existe, en estas empresas, disposición a participar en programas que le permitan, de manera rápida, conocer tecnologías, tendencias y nuevas oportunidades en su rubro, por medio del acercamiento a centros de conocimiento como universidades y centros tecnológicos. Además, se caracterizan por una cercanía a programas e instrumentos CORFO e Innova, mostrando en general un recurrente uso de subsidios públicos. En el caso de las 9 empresas que se sitúan en torno a este patrón, la gran mayoría de los liderazgos corresponde a empresarios fundadores mayores de 50 años, con varios casos de procesos de recambio generacional en desarrollo.

El siguiente cuadro muestra el resultado de agrupación de las empresas entrevistadas en tres tipologías según condiciones y dinámica de adopción tecnológica.

Cuadro 7

Empresas, oferta y tipología de adopción

Empresa	Oferta	Tipología de adopción tecnológica
E1	Equipos y soluciones ingeniería para la minería	1
E2	Diseño e implementación de automatizaciones y de Apps	1
E3	Ingeniería, diseño, fabricación de máquinas y equipos madereros, y montajes industriales	1
E4	Desarrollador y comercializador de tecnologías para la industria del aserrío	2
E5	Diseño y fabricación de soluciones medioambientales para la industria maderera y portuaria.	2
E6	Fabricación de repuestos metálicos con procesos con arranque de viruta, y equipos menores	3
E7	Diseño de ingeniería y fabricación de equipos menores y estructuras metálicas livianas	3
E8	Fabricación de partes, piezas y repuestos metálicos con procesos de arranque de viruta	3
E9	Fabricación de equipos para cosecha forestal. Servicio de mantenimiento y over-hall de torres de maderero y equipos relacionados	3
E10	Dispositivos biomédicos	1
E11	Diseño, ingeniería y fabricación de secadores para maderas y equipos de transferencia de calor.	2
E12	Diseño, ingeniería y fabricación de equipos en base a tecnología oleohidráulica para la industria.	1
E13	Servicios de fabricación de repuestos y conjuntos mecánicos con tecnología CNC. Servicios de máquinas-herramientas.	3
E14	Manufactura de productos electrónicos e iluminación IoT	1
E15	Productor de molduras libre de nudos, para la construcción de viviendas	3
E16	Fabricación de cuchillos para la industria del alambre, y fabricación de repuestos metálicos	3
E17	Fabricación y Montaje de estructuras metálicas	2
E18	Fabricantes de molduras y otros productos en base a madera seca para la construcción.	3
E19	Diseño y fabricación de estructuras metálicas para la industria forestal y pesquera.	3
E20	Diseño y fabricación de equipos forestales, servicios de mantenimiento industrial y de máquinas herramientas.	2

Fuente: elaboración de los autores, sobre la base de la información recopilada en las entrevistas a empresas.

Los procesos de adopción tecnológica suelen ser complejos y difícilmente explicables sin el apoyo de un marco de análisis multivariado. En función de ello, la información entregada por las empresas incluidas en la investigación de campo permitió conformar un perfil para cada empresa en función de 12 categorías definidas con ayuda del marco de referencia TOE, tal como se describe al inicio de la presente sección. La agrupación de los 20 perfiles, realizada con el apoyo de la técnica *K-means* permite distinguir con nitidez los tres patrones presentados. Estos responden a los relatos cualitativos y, por la evidencia levantada, a condiciones y dinámicas bien diferenciadas en sus respectivos procesos de adopción de TD 4.0. Por ello, el análisis de motivaciones, beneficios y obstáculos se presentará por patrón o tipología, procurando referirse a los perfiles específicos de empresas solo para efectos de ejemplificación.

A. Motivaciones para la adopción de TD 4.0 en las pymes estudiadas

Las principales motivaciones para la adopción de TD 4.0 por parte de las empresas estudiadas tienen que ver con sus estrategias competitivas y con el perfil de sus liderazgos.

Para las empresas de la Tipología 1, las motivaciones principales se relacionan con la necesidad de consolidar su posición en el mercado por la vía de productos sofisticados. Estas empresas coinciden en que desde sus orígenes asumieron un modelo de negocios íntimamente asociado al desarrollo y uso de tecnologías de frontera. Ellas muestran trayectorias relativas de crecimiento dinámicas, situándose en los mayores tramos de venta de la muestra. Casos ilustrativos de este perfil son las empresas E1 y E12. E1 se encuentra desarrollando equipos para la minería con características de control a distancia basadas en automatización y sensorización, operables en zonas con gran dificultad para el monitoreo presencial, impulsando así su posicionamiento en esta industria. En el caso de la empresa E12, es destacable el desarrollo de sistemas de compuertas para el direccionamiento de aire al interior de las minas, con sistemas de accionamiento oleohidráulico, operables a distancia, y con sistemas de sensorización de flujos de aire, CO2 y temperatura. Estos equipos complejos, que sortean tecnológicamente las dificultades del entorno donde operan, permiten consolidar a la empresa en el mercado.

La excepción del conjunto, si bien muestra las mismas motivaciones, corresponde más bien a una *startup* con dos años de vida, pero que proyecta a futuro un activo crecimiento. Este es el caso de la empresa E10, donde nos encontramos con desarrollos de un nivel mayor de complejidad como es el caso de dispositivos de neuroestimulación para pacientes con problemas de motricidad, o en fase de rehabilitación luego de accidentes cerebrovasculares o neurológicos. Se trata de desarrollos de relativa complejidad, con diseño de alto estándar y especificidad de uso, que necesariamente hacen uso de TD 4.0.

La motivación de este grupo de empresas va vinculada al uso de tecnologías como un atributo distintivo de su oferta de valor. Esta estrategia les ha resultado exitosa, no obstante mantener por lo general sus procesos de manufactura aún lejos del paradigma de Industria 4.0. Otro rasgo compartido por ellas y vinculado a las motivaciones ya mencionadas ha sido el uso temprano de instrumentos públicos de apoyo a la innovación, como un apoyo efectivo para avanzar en las fases precompetitivas de prototipado y pilotaje. La intensidad de uso de este tipo de ayudas públicas decrece conforme se posicionan en mercados. Sus modelos de financiamiento también presentan rasgos similares, apuntando a un crecimiento más bien orgánico, donde la mayor necesidad corresponde al capital de trabajo, que es provisto por bancos, con los cuales mantienen una relación permanente de largo plazo.

Para las empresas agrupadas en la Tipología 2, las principales motivaciones se expresan en la necesidad de aumentar la calidad de sus productos y mostrar una ruta de *aggiornamento* tecnológico a sus clientes industriales a fin de asegurar su fidelización frente a la amenaza de nuevos proveedores externos. Un ejemplo característico es el caso de la empresa E4, que ha incorporado en su oferta el tratamiento de datos y scanner especializados, iniciándose a las TD 4.0 a través de la ingeniería de datos, bigdata, computación en la

nube y sistemas de recomendación para custodia de procesos industriales. De manera similar, la empresa E5 ha realizado una mejora en la calidad de sus equipos con nuevas versiones, que cada vez incorporan mejores atributos de calidad, presentados como *upgrade* a sus equipos mediante la incorporación progresiva de elementos de TD 4.0 que contribuyen directamente al mejoramiento de la productividad y disminución de los costos de operación de los equipos. Incluyen además prestaciones de manejo, transmisión y registro de datos de operación, por medio de control a distancia, aplicaciones en teléfonos móviles, computación en la nube, sensorización y visión por computador.

Algunas empresas de este grupo reconocen además la motivación de consolidar su posicionamiento en nichos especializados, como es el caso de E11, quienes han desarrollado principalmente una línea de productos para el secado industrial de madera aserrada, que les ha permitido posicionarse en el mercado con equipos de alta eficiencia y tecnología, disminuyendo los tiempos de procesos y de operación.

Las empresas incluidas en esta tipología, cuentan con capacidades para avanzar, en el futuro cercano, en una ruta de adopción tecnológica, aunque reconocen la necesidad de apoyo experto externo para llevar adelante dichos procesos, por ello este grupo busca el establecimiento de vínculos con centros tecnológicos y universidades que le facilite el acercamiento a las tecnologías de frontera y a fuentes de financiamiento público. Se observa que todas disponen de capital humano calificado a nivel superior, pero no así intermedio. A diferencia de la tipología 1, este grupo está motivado por fortalecer el vínculo con sus clientes existentes, como proveedores de productos tecnológicos. Estas empresas, de patrones aún en desarrollo para la adopción de TD 4.0, son candidatas ideales para alcanzar un grado de consolidación en el mediano plazo.

En el caso de las empresas de la Tipología 3, las empresas estudiadas coinciden en señalar como su principal motivación el mantenerse vigentes y competitivas en el mercado. No obstante, su menor desempeño en materia de TD 4.0, este grupo presenta avances que, aunque incipientes, revisten interés por cuanto abren la puerta a trayectorias de adopción coherentes con sus posibilidades más bien limitadas de inversión, por la vía de diversificar su oferta hacia nuevos segmentos de demanda. Por ejemplo, las empresas E13 y E16, quienes visualizan la vigencia por medio de la entrega de servicios y/o productos requeridos por el mercado, pero con precios competitivos, y con elementos diferenciadores en el servicio como calidad y menores tiempos de entrega. Es así como la primera empresa ha realizado importantes esfuerzos para tener un parque de máquinas herramientas de última tecnología, principalmente con control CNC, y la segunda con la creación de una línea de producción de familias de cuchillos de uso industrial.

En este grupo incluye a empresas con menor desarrollo tecnológico relativo, productos de baja complejidad y valor agregado, así como de partes y piezas estandarizadas, para las cuales la competitividad se basa principalmente en su costo-eficiencia. La motivación por mantenerse vigentes gatilla en estas empresas su disposición a participar en programas que le permitan, de manera rápida, conocer tecnologías, tendencias y nuevas oportunidades en su rubro, por medio del acercamiento a centros de conocimiento como universidades y centros tecnológicos.

B. Beneficios reportados a partir de la adopción de TD 4.0

Los beneficios reportados con mayor frecuencia por parte de las empresas de la Tipología 1 se refieren a los atributos tecnológicos diferenciadores en sus productos, implicando un mayor margen comercial de su oferta. Lo anterior, entre otras implicancias, les ha

llevado a sofisticar sus procesos de innovación y prototipado, con incorporación de impresión 3D y diseños en la nube, como un requerimiento de su relación con clientes y procesos de venta, tal como lo ilustran las experiencias de las empresas E1 y E14. Otro caso destacable es el de la empresa E2, quienes por medio del desarrollo de aplicaciones en teléfonos móviles agregan valor a sus equipos, facilitando la operación y control de estos, con un fuerte impacto en los factores de operación de los equipos, producto de la facilidad para visualizar fallas a distancia y poder corregirlas. Como ejemplo se puede mencionar una aplicación desarrollada a una solución de control de nivel de estanques de agua para una villa industrial, que se encuentra distante del centro de operaciones y que permite monitoreo permanente sin tener que desplazarse a lugar físico en donde se encuentran la fuente original, lo que el cliente asigna un gran valor. Similar situación experimenta la empresa E3, con la incorporación de tecnologías de sensorización y automatización a sus equipos para el tratamiento de madera, mejorando la eficiencia de los procesos tanto para el aprovechamiento de la materia prima, como en la velocidad promedio de la planta procesadora, gracias a una semi-automatización de sus procesos. En ambos casos, con la incorporación de TD 4.0, se incrementan los márgenes en atención al mejoramiento de la productividad.

El disponer de mayor nivel de conocimiento y saber-hacer entrega una ventaja competitiva en los productos, que les posiciona favorablemente en licitaciones y mercados con mayor nivel de exigencia y fuertes competidores, por ejemplo, en Estados Unidos o Asia. En ese sentido, las empresas E1 y E14 señalan que la adopción digital les ha conducido hacia una nueva dinámica organizacional virtuosa, vinculada a la innovación guiada por el líder y acompañada por los profesionales y técnicos de la empresa.

Las empresas de la Tipología 2 coinciden en que el principal beneficio del uso de TD 4.0 es ser vistas como empresas cercanas y con capacidades tecnológicas, con liderazgo en su segmento, en sintonía con los requerimientos propios de sus clientes. Este factor, en algunos casos, les ha llevado a alcanzar mercados internacionales, que en las industrias como la forestal o la minera, usualmente son empresas con operaciones en varios países. Es el caso de la empresa E5 quien han desarrollado una estrategia de mejoramiento continuo y permanente de sus equipos, lo que le ha permitido estar muy cerca de sus clientes, con una oferta de *upgrade* basados en TD4.0 lo que ha sido muy valorado por estos. Es así, como a su equipo para la descarga de granel en puertos con sistema de captura sincronizada de polvo, se le ha incorporado un registro de datos y monitoreo a distancia de las operaciones, lo que ha surgido del mismo cliente. Estas son algunas de las incorporaciones tecnológica que lo sitúan como líder en el segmento de mercado. En el caso de la empresa E11, ocurre una situación similar, en donde las embarcaciones se han realizado en atención a los requerimientos de los clientes, y se les ha incorporado tecnologías para la solución de algunos problemas de operación principalmente. Es el caso de equipos auxiliares a los cuales se les ha incorporado sensores y cámaras para mejorar y facilitar la operación, los que les ha permitido ser reconocidos por las incorporaciones de tecnologías como elemento diferenciador.

La adopción reciente de una cultura digital, desarrollos con ayuda externa, un buen nivel de conocimiento y familiaridad con las TD 4.0, líderes con experiencia en manufactura son aspectos que contribuyen, sin dudas, a estos beneficios.

Finalmente, las empresas incluidas en la Tipología 3 constatan beneficios asociados a la fidelización de clientes y a la reducción de costos en sus procesos, como elementos claves frente a una creciente penetración de competidores externos (principalmente de origen asiático). Esto ocurre en empresas como E6 quienes han incursionado en el desarrollo de nuevos productos que son demandados por sus clientes y por medio de las tecnologías incorporadas. Ello les ha permitido reducir los costos de fabricación y competir por cercanía (territorial) y de paso mejorar los tiempos de entrega. Es el caso

de un desarrollo de equipos con alto nivel de desgaste, al que se le ha incorporado un sensor de deformación para monitorear y asegurar el levantamiento de cargas en puerto de manera segura. Otro caso es el de la empresa E8, que ha incursionado en el desarrollo de una mejora sustancial para la planificación y control de la operación de sus máquinas herramientas, por medio de la captura de datos de cada una de sus máquinas que alimentan un modelo matemático para la asignación de tareas. Esto como una forma de disminuir sus costos de producción, maximizando el factor de operación de la planta, lo que le permitirá llegar con precios competitivos a sus clientes.

Por tratarse de componentes de menor complejidad la competencia se realiza principalmente por precio, de allí que es observado como un gran beneficio la reducción de costos por medio del mejoramiento de procesos a través de la incorporación de nuevas tecnologías. En general, en esta tipología se encuentran empresas interesadas en diversificar su oferta, con una cultura parcialmente instalada y cierta resistencia al cambio dentro de sus organizaciones.

Un beneficio secundario y relevante para este segmento es el acercamiento a universidades y centros tecnológicos de la región. Este vínculo les ofrece orientación y capacitación, así como la posibilidad de acceder a instrumentos de apoyo a la innovación y transferencia tecnológica. Por ello, se caracterizan por una cercanía a programas e instrumentos CORFO e Innova, mostrando en general un recurrente uso de subsidios públicos.

C. Principales obstáculos detectados

En las empresas de Tipología 1, una causa común en todos los entrevistados de la tipología es la falta de capital humano de mayor calificación, específicamente se refiere a la falta de personal técnico medio y a personal de gestión tecnológica y de innovación dentro de los *staffs*. Particularmente clave es el caso de la falta de personal técnico calificado local para operación de máquinas, manejo de software, o de programación de computadores. Esto resulta paradójico dado la gran cantidad de institutos técnicos existente en la región del Biobío. Como lo expresan las empresas E12 y E20. La primera ha incurrido en retrasos en la entrega de sus equipos por la falta de disponibilidad de mano de obra técnica, que le permitan ejecutar tareas de integración y montaje dentro de los plazos, debiendo invertir un mayor tiempo en la dirección y supervisión de tareas de personal con baja calificación o sin competencias en las materias requeridas. La mano de obra faltante es aquella de nivel técnico con conocimientos y experiencia. En el caso de la empresa E20, plantea la misma situación, debiendo acceder a subcontratos de servicios a otras empresas especialistas, dado que no existe la posibilidad de tener de manera permanente este tipo de técnicos con tareas permanentes en la empresa.

En empresas con mayor antigüedad en el mercado, se identifican además como un obstáculo la excesiva dependencia de grandes empresas. Un tercer obstáculo señalado es la falta de proveedores locales confiables. Por último, el acceso global al financiamiento externo, si bien no es visto como un obstáculo importante, si lo es la falta de incentivos y apoyos a la internacionalización por parte del sector público.

En estas empresas, con condiciones favorables y patrones dinámicos a la adopción de TD 4.0, los conjuntos de obstáculos se explican más bien por el crecimiento y los nuevos desafíos. Se trata de empresas con líderes de un mayor nivel de formación que conjugan las habilidades empresariales con el conocimiento técnico digital. Estas empresas han encontrado nichos de mercado apoyándose en su experiencia y ampliando sus líneas de negocios, ya sea aliándose con socios externos o incorporando nuevos actores a la organización. En el caso de las empresas más nuevas, ocupadas en la captura de nuevos clientes, la existencia de pocos y grandes clientes es también un

problema, por ejemplo, el sector forestal. La poca diversificación de la demanda es un factor limitante. El crecimiento observado en algunas de las empresas las ha llevado a buscar mercados internacionales, como es el caso de uno de los entrevistados, que, apoyado en la protección intelectual de sus equipos pudo llegar a varios países, pero con dificultades de capital de trabajo para poder consolidarse.

En las empresas agrupadas en la Tipología 2 se califica como un obstáculo la falta de instrumentos públicos de apoyo a la adopción de estas tecnologías, percibidas como una innovación a nivel de la empresa, y también a la inversión en activos fijos habilitantes. Se refieren a poder contar con apoyo a proyectos complejos que incluyen prototipado y escalamiento comercial, señalando un desfase del instrumental actual respecto al grado de madurez de las empresas. Por ejemplo, la empresa E5, ha tenido la capacidad de desarrollar a nivel de ingeniería algunos de sus equipos, considerando elementos de TD 4.0. Para ella, su salida al mercado ha sido más bien lenta no exenta de costos, debiendo destinar parte del capital de trabajo para prototipar y realizar pruebas y validaciones, ya que muchos de los sensores y manejo de datos en la nube se deben realizar en ambientes complejos, así como en el interior de plantas industriales y en puertos.

Al igual que en las empresas de tipología 1, observan como una seria dificultad la disponibilidad de proveedores locales confiables y la falta de personal técnico calificado y competente en nuevas tecnologías.

Debido a que las estrategias competitivas de este grupo se centran en alcanzar mayores niveles de especialización para mantener a los clientes con nuevas ofertas, el instrumental público no ha sido pertinente y el encadenamiento con proveedores ha sido débil. No obstante, se trata de empresa que mantienen un interesante vínculo con grupos de académicos y han aprovechado bien los apoyos públicos primarios para aumentar su nivel de conocimiento y auscultación de mercado. Las empresas entrevistadas colaboran con el sector universitario, requiriendo su asesoría especializada como una manera de suplir la falta de proveedores especializados y personal técnico. Varias han llevado adelante desarrollos conjuntos con investigadores.

Finalmente, en las empresas de la Tipología 3, los principales obstáculos identificados vienen dados por la amenaza de nuevas empresas entrantes, que compiten fundamentalmente por precio, y por el desconocimiento de los líderes de las nuevas tecnológicas digitales, que introduce el temor ante una eventual pérdida de control técnico del negocio. Una de las empresas (E19) entrevistadas realizó una importante inversión en robótica para realizar procesos de soldaduras asociados a un contrato específico, quedando luego el equipo desaprovechado para nuevos proyectos. Este ejemplo revela la complejidad del proceso de adopción, ya que la estructura empresarial y su estrategia competitiva no estaban preparadas para absorber la tecnología robótica como propia, y además existía un desconocimiento de los requerimientos técnicos para su operación.

Se trata de empresas con condiciones incipientes para la adopción, que se centran en una estrategia de retención de clientes y de reducción de costos. Son fabricantes de partes y piezas, donde la adopción se observa en el mejoramiento de sus procesos de producción por ahorro de costos. La adopción se ha centrado en tecnologías como a través CAD/CAM, robótica y sensores.

En este segmento, la menor cercanía de los líderes de estas empresas a la cultura digital, les hace depender fuertemente de la asistencia técnica de terceros. Esto resulta especialmente crítico, cuando las empresas han incorporado tecnologías e inversiones que no tienen continuidad en su operación luego de cumplido el proyecto específico para el que fueron adoptadas. Los instrumentos públicos pueden jugar un rol relevante en apoyos tempranos en formación empresarial y técnica, animación de redes para la adopción y transferencia de tecnologías, y a la búsqueda permanente de oportunidades de negocios vinculadas al uso de estas tecnologías.

A. Síntesis de hallazgos y resultados

La presente investigación de campo, desarrollada sobre una muestra dirigida a 20 pymes manufactureras de la Región del Biobío con trayectoria o propensión a adoptar TD 4.0, ha permitido identificar, a partir de su caracterización mediante doce categorías tecnológicas, organizacionales y de entorno, tres patrones diferenciados. Estos patrones revelan una clara segmentación entre las empresas estudiadas, según sus respectivos alcances y avances, ya no solo en lo referido a la adopción de las TD 4.0, sino a la comprensión e internalización de la visión del modelo de Industria 4.0 y a sus estrategias competitivas y organización funcional.

A nivel directivo o gerencial, la gran mayoría de las empresas entrevistadas cuenta al interior de su personal con profesionales calificados, en no pocos casos involucrados en iniciativas colaborativas con el mundo universitario regional, Algunos han llevado adelante proyectos CORFO, diplomados de actualización profesional y participado en talleres de innovación. Tienen una disposición positiva al cambio y con frecuencia visualizan nuevos negocios para sus empresas.

El conjunto de casos examinados en Biobío revela, al margen de las naturales singularidades a nivel de cada empresa de la muestra investigada, una clara segmentación, en cuanto a nivel de adopción de TD 4.0, evidenciando ciertas tendencias que pueden explicar esta diferenciación. Una muy clara parece ser el vínculo del segmento etario del líder de la empresa de menos de 50 años con el mayor avance en la incorporación de este tipo de tecnologías. Probablemente no sea solo una cuestión de conocimiento sino también de cultura digital lo que prima en este caso.

Un segundo elemento clave respecto a los beneficios observados se vincula a la diferenciación de mercado por captura de *know-how*, es decir la apropiación de un conocimiento aplicado para la agregación de valor en sus productos, introduciendo al mismo tiempo este factor un obstáculo o traba para la cooperación con proveedores locales e incluso centros tecnológicos, por temor a la filtración de información y *know-how* sensible.

Otro rasgo tendencial observado en la mayoría de las empresas entrevistadas es que la incorporación de TD 4.0 se ha concentrado preferentemente en su oferta de productos, antes que, en sus procesos, posiblemente debido a la estructura productiva de la región, liderada por grandes empresas forestales, petroquímicas y siderúrgicas, ya que, en cierta medida y progresivamente, ellas han comenzado a requerir soluciones “inteligentes” a sus proveedores locales. Finalmente, es interesante observar que las empresas que lideran los procesos de adopción tecnológica no indican como obstáculo el acceso al financiamiento, reconociendo en la mayoría de los casos un crecimiento bastante progresivo y prudente, de la mano de contratos y proyectos adjudicados que se lo han permitido. Por otra parte, si bien la mayoría de ellas reconocen ser o haber sido usuarias de cofinanciamientos no reembolsables otorgados por agencias públicas, no señalan estos apoyos como un aspecto crítico, salvo algunas de las más altamente tecnificadas de la muestra, que lo reconocen como soportes relevantes durante sus primeros años de operación.

La tipología construida permite reconocer patrones similares al interior de cada grupo de empresas y, en contraste, distingue nítidamente trayectorias diferenciadas entre estos tres grupos, en términos de sus hitos, motivaciones, beneficios y dificultades abordadas en el proceso de adopción de TD 4.0.

En el siguiente cuadro se presenta de una manera esquemática los rasgos característicos de los tres patrones encontrados.

Cuadro 8

Resumen rasgos característicos de las tipologías

Tipología	Mayor avance relativo TD 4.0	Avance Intermedio TD 4.0	Avance Incipiente TD 4.0
Empresas	E1, E2, E3, E10, E12, E14	E4, E5, E11, E17, E20	E6, E7, E8, E9, E13, E15, E16, E18, E19
Motivaciones	Mejorar posicionamiento competitivo Desarrollar atributos diferenciadores de oferta En procesos, mejorar pre venta a clientes	Mejorar calidad de productos Fidelizar clientes frente a nuevos competidores (muchos de ellos en el segmento de proveedores especializados)	Actualización para mantenerse vigentes en el mercado Diversificar su oferta y seguir siendo competitivos
Beneficios	Mayor margen comercial debido a atributos distintivos Captura de conocimiento y saber-hacer como ventaja competitiva	Mayor sintonía con clientes Evolución de su cultura organizacional Imagen de modernidad y liderazgo sectorial	Acceso a nuevas oportunidades de negocios Mantenimiento de clientes y reducción de costos Acceso a orientación y apoyo de centros tecnológicos locales e instrumentos públicos de difusión tecnológica
Dificultades	Baja diversificación de cartera de clientes Difícil internacionalización, por el respaldo financiera que conlleva Pocos proveedores locales confiables Baja disponibilidad de personal técnico con competencias requeridas Poca oferta adecuada en gestión tecnológica y de innovación para staff profesional	Apoyo público inadecuado y escaso (baja capacidad de evaluación de proyectos) Baja disponibilidad de personal técnico calificado Pocos proveedores locales confiables	Baja disponibilidad de personal técnico calificado Asimetrías de información frente a proveedores de TD 4.0 y el desconocimiento Baja asistencia técnica de proveedores

Fuente: elaboración de los autores.

Un hallazgo relevante, transversal a la muestra de empresas estudiadas es el disímil ritmo de adopción de TD 4.0 ligadas a datos versus aquellas ligadas a procesos. La mayoría de las empresas encuestadas muestran niveles de avance evidenciables en las primeras, mientras que en torno a las segundas la mayoría de las pymes encuestadas no ha iniciado aún su adopción.

El rol de los subsidios o *grants* para el fomento competitivo y de la innovación, ampliamente conocidos en la región, también muestra diferencias al interior de las empresas. Para las más avanzadas, en materia de TD 4.0, los subsidios han cumplido un rol de apoyo, fundamentalmente, en sus inicios, a diferencia de las que reconocen una gestión más recurrente de los mismos, y que se sitúan en general en niveles de adopción digital menos avanzados.

Así mismo, se constata una dificultad transversal en reclutar recursos humanos con competencias digitales, a pesar de la amplia oferta de profesionales y técnicos recientemente formados en la región. La dificultad se agudiza en el nivel de técnicos especializados. Se visualiza la no sintonía entre empresas y centros de formación.

Finalmente, es interesante observar que las empresas estudiadas en general no indican como obstáculo el acceso al financiamiento, aunque siendo usuarias de las agencias públicas, no lo señalan como un aspecto crítico.

B. Consideraciones para el diseño de estrategias y políticas públicas para impulsar el avance de pymes manufactureras hacia la Industria 4.0

Los resultados del estudio entregan luces sobre aspectos que debieran considerarse en el diseño o adecuación de eventuales estrategias e instrumentos públicos de apoyo a la digitalización y modernización tecnológica de pymes manufactureras:

- i. *La demanda y presión competitiva como factores desencadenantes de la adopción de TD 4.0.* La adopción de TD 4.0 necesariamente se correlaciona con cambios en las estrategias competitivas de las empresas, ya sea como causa o consecuencia de éstos. Además, las empresas de nivel intermedio y bajo ven como un serio riesgo la no adopción de estas tecnologías, ya que las llevaría a quedar fuera de mercado. Por ello, los instrumentos de apoyo a la búsqueda de nuevos negocios, misiones prospectivas, ruedas de negocios y vistas a ferias son muy importantes.
- ii. *Las rutas de adopción progresiva de TD 4.0 no son únicas.* Los diferentes grupos de empresas evidencian que tanto la secuencia como la velocidad de adopción tecnológica depende de las motivaciones desencadenantes y las capacidades de absorción y uso de la tecnología de cada empresa. Por ejemplo, para las empresas de tradición manufacturera clásica la transición ha sido más lenta, pasando por la culturización y auto-formación del líder primero quien, a su vez, se encuentra mediatizado por la mantención de sus negocios históricos para el financiamiento de sus costos fijos. Esta característica se ve bien en las empresas de tipología 2. En la tipología 1, se observa un camino más acelerado cuando la empresa ha sido creada bajo la lógica digital. El apoyo diferenciado debe ser muy claro en las políticas públicas y el correcto diagnóstico sobre los “dolores” de las pymes adoptantes de tecnologías es fundamental.
- iii. *Importancia del entorno.* El entorno local, que incide en las motivaciones, prácticas y desempeño de las empresas en materia de adopción tecnológica está conformado por diversos factores, entre los que destacan la disponibilidad de recursos humanos calificados, las condiciones de conectividad, la oferta y redes de soporte y servicios empresariales, la cultura manufacturera y la cultura de innovación. El conjunto de estos factores, y las brechas que los afectan inciden de manera relevante, especialmente en las empresas con adopción incipiente de TD 4.0 (tipología 3). El entorno ha jugado un rol relevante durante las últimas décadas en la Región del Biobío, no solo por su dinámica industrial, sino también por el tejido universitario y las políticas públicas pro innovación, sin embargo, aun deben cerrarse brechas relevantes en factores de entorno clave tales como competencias digitales del recurso humano (especialmente en los niveles técnicos), oferta de soporte y servicios especializados y cultura de innovación. El entorno empresarial puede cumplir un rol diferenciador cuando los gobiernos reconocen la importancia de incentivos y políticas industriales de alcance sistémico. Las Estrategias Regionales y agencias con poder de decisión local son decisivas.
- iv. *Mentalidad y cultura del empresario con conceptos de Industria 4.0.* El segmento etario, estilo de liderazgo y estrategia competitiva reflejan liderazgos que pueden ser más o menos proclives a la adopción de TD 4.0. La cultura digital se expresa principalmente en el segmento etario menor a 50. Se trata de generaciones que se formaron con el computador y que recibieron su formación superior en este ámbito. Es notorio el efecto en todas las tipologías de empresas. El rol de las instituciones de educación puede ayudar a acrecentar la cultura digital.

Incentivar el vínculo con la academia, ruedas de negocios y visitas temáticas de mejores prácticas pueden ser instrumentos muy eficaces.

- v. *Alta relevancia de tecnologías conexas con TD 4.0.* La interdependencia ya mencionada entre las TD 4.0 y las estrategias competitivas abre la necesidad de incorporar o mejorar las capacidades de la empresa en tecnologías complementarias que aseguren la viabilidad del modelo de negocios al que aspirar. Por ejemplo, en el caso de las empresas de mayor avance y avance intermedio, el diseño industrial o las TICs cumplen un rol potenciador de TD 4.0. Los incentivos a proyecto de innovación y desarrollo orientados a las empresas deberían ponderar positivamente, no solo el resultado del desarrollo, sino también el fortalecimiento de las tecnologías complementarias. Las políticas públicas deben profundizar su apoyo a sistemas de empresas o *clusters*. Estrategias de apoyo a conglomerados encadenados son apuestas que se deben abordar, por ejemplo, apoyando proyectos que aborden desde el diseño a la internacionalización de productos.
- vi. *Acceso a financiamiento.* No aparece a priori como barrera insalvable para este proceso de adopción, especialmente al incorporarse desde la oferta de productos en un inicio, lo cual en general no implica necesariamente incurrir en altas inversiones capital-intensivas. Si se valora el apoyo de *grants* en etapas tempranas, debido a que facilitan el aprendizaje tecnológico y amortiguan los riesgos propios del ensayo-error en las fases de pilotaje y experimentación. Para las empresas de la tipología 3, el financiamiento es importante, especialmente en la fase de capacitación y conocimiento del mercado, así como de apoyo en tecnologías habilitantes en activo fijo y/o software.
- vii. *Diferenciación de instrumentos de apoyo según tipología de avance.* El estudio muestra claras diferencias en materia de motivaciones, beneficios y obstáculos en la adopción de TD 4.0 según el nivel de avance relativo de las empresas hacia los modelos de Industria 4.0. En consecuencia, los incentivos o instrumentos públicos deberían adecuarse a cada uno de estos segmentos, a fin de alcanzar mayor impacto y/o cobertura agregada.
- viii. *El papel de las redes de soporte y colaboración tecnológica.* Disponer de un entorno universitario y de una efectiva vinculación universidad-empresa ha sido significativo para las tres tipologías de empresas. En la gran mayoría, por no decir en todas, existe algún tipo de vínculo con centros de conocimiento y redes empresariales. Biobío es reconocida por este elemento dinamizador, que sin duda ha sido un catalizador a la hora de la adopción tecnológica. En una etapa temprana, la participación en reuniones, seminarios y misiones tecnológicas han ayudado a las pymes menos avanzadas a reconocer sus falencias y a buscar el apoyo de redes de pares y de expertos. Por lo anterior, no se debe dejar de lado estos apoyos primarios, pues facilitan la aceleración del cambio tecnológico y cultural. Un ente dinamizador de la gestión tecnológica o *brokers* es fundamental para activar, generar espacios de encuentro y motivar, acciones que no se evidencian en ningún actor público de la región.
- ix. *Brecha transversal en materia de preparación de capital humano.* Una dificultad transversal a todas las empresas encuestadas es la dificultad por una parte de reclutar personal técnico, de nivel intermedio, con competencias digitales y tecnológicas. En los casos de empresas con mayor nivel de adopción de TD 4.0 se agrega la dificultad de entrenar al personal profesional especializado en gestión tecnológica y de innovación. Es importante que a nivel de universidades y centros tecnológicos se desarrolle una oferta formativa y de capacitación que aborde esta brecha, pudiendo existir instrumentos públicos en esa línea que incentiven a las instituciones a ofrecer programas dedicados.

- Alok Raja, Gourav Dwivedib, Ankit Sharmac, Ana Beatriz Lopes de Sousa, Jabbourd Sonu Rajake (2020). Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. *International Journal of Production Economics*. Volume 224, June 2020, 107546.
- Burachik, G. Cambio tecnológico y dinámica industrial en América Latina. Agosto 2000. *Revista Cepal*.
- Christian Arnold, Johannes W. Veile, Kai-Ingo Voigt (2018). What Drives Industry 4.0 Adoption? An Examination of Technological, Organizational, and Environmental Determinants. *International Association for Management of Technology IAMOT 2018 Conference Proceedings*.
- CEPAL (2012). Conectados a la banda ancha: tecnología, políticas e impacto en América Latina y España, CEPAL 2012.
- CORFO (2017). Fundamentos Programa Estratégico Transforma Manufactura Avanzada. Documento de Trabajo, CORFO. Santiago de Chile 2017.
- CORFO (2019). Cuenta Pública 2018.
- DePietro, R., Wiarda, E., and Fleischer, M., (1990), The context of change: Organization, technology, and environment. In *The process of technological innovation*, LG Tornatzky, and M Fleischer (eds.), pp. 151-175. Lexington: Lexington Books.
- Hartigan, J. A. and Wong, M. A. (1979). Algorithm AS 136: A K-means clustering algorithm. *Applied Statistics*, 28, 100–108.
- Maggi, C. (2012). Fortalecimiento de la competitividad a través de la gestión de la innovación en la Región del Biobío (Programa Foco in Biobío). Informe de evaluación para BID-FOMINMcKinsey Digital (2019). Five moves to make during a digital transformation.
- Ministerio de Desarrollo Social, Chile (2018). Situación de Pobreza. Síntesis de Resultados CASEN 2017.
- Ministerio de Economía, División de Política Industrial y Comercial (2019). Resultados Encuesta Longitudinal de Empresas ELE-5. Ministerio de Economía, División de Innovación (2018). Principales resultados de la Décima Encuesta Nacional de Innovación 2016 – 2017.
- Muñoz, O. (ed. 2009). CORFO. Desarrollo Productivo en Chile. FLACSO – Catalonia.
- Nedelkoska, L., Quintini, G. (2018). Automation, skills use and training. *OECD Social, Employment and migration working papers* no. 202.
- Pérez, Carlota (2001). Cambio tecnológico y oportunidades de desarrollo como blanco móvil. Ponencia presentada en el Seminario “La Teoría del Desarrollo en los Albores del Siglo XXI”. CEPAL.
- Rembold, U., Nnaji, B.O. y Storr A. (1994). *Computer Integrated Manufacturing and Engineering*. Addison-Wesley.
- UBB-CORFO (2018). Programa de Difusión Tecnológica Automatización y Robótica, Informe 1. Universidad del Bío-Bío-CORFO Región del Bío-Bío.
- UNIDO (2019). *Industrial Development Report 2020. Industrializing in the Digital Age*.

Cuadro A.1

Listado de PYMEs y personas entrevistadas (marzo-mayo 2020)

N°	Empresa	Actividad	Contacto / gerente / propietario	Sitio web
1	Ramtun Ltda	Ingeniería y Diseño de equipos y soluciones para la minería	Cristian Guzmán	ramtun.cl
2	Eleksur Ltda	Diseño, desarrollo e implementación de soluciones de automatización de procesos para la industria	Francisco Esper Rehren	eleksur.com
3	Betech Ltda	Ingeniería y montaje de plantas industriales. Diseño y fabricación de máquinas y equipos para la industria	Richard Espinoza	betechLtda.cl
4	Solecia S.A.	Desarrollador y comercializador de tecnologías para la industria del aserrío	José Luis Ávila	solecia.com
5	Prosein Ltda.	Diseño, ingeniería, fabricación y montaje de máquinas u equipos para la industria manufacturera, medioambientalmente amigables	Guillermo Astudillo Varas	prosein.cl
6	Metalúrgica Inti Ltda	Fabricación de repuestos metálicos con procesos con arranque de viruta, y equipos menores	José Ramírez Sepúlveda	intitlda.cl
7	IS Ingeniería	Diseño de ingeniería y fabricación de equipos menores y estructuras metálicas livianas	Nelson Méndez Martínez	Arturo Pérez 757, Lagos de Chile, Sector Collao
8	Tecbio S.A.	Fabricación de partes, piezas y repuestos metálicos con procesos de arranque de viruta	Alejandro Morales de la Jara	tecbio.cl
9	Formatic Ltda	Diseño y fabricación de equipos para cosecha forestal. Servicio de mantención y over-hall de torres de maderero y equipos relacionados	Jaime Ramírez Uribe	formatic.cl
10	NeuroTech	Ingeniería y desarrollo de dispositivos biomédicos	Pablo Aqueveque	smartfes.cl
11	Neumann Secadores Industriales	Diseño, Ingeniería y fabricación de secadores industriales para maderas y equipos de transferencia de calor.	Rodolfo Neumann Roshmann	neumann.cl
12	Servoequipos Ltda	Diseño, ingeniería y fabricación de equipos en base a tecnología oleohidráulica para la industria.	Patricio Inostroza Mora	servoequipos.cl
13	Orecal Ltda.	Servicios de fabricación de repuestos y conjuntos mecánicos con tecnología CNC. Servicios de máquinas-herramientas, corte con chorro de agua e hilo, tratamiento térmico y escaneo 3D de piezas mecánicas.	Marco Orellana Parra	orecal.cl
14	SICOM	Manufactura de productos electrónicos e iluminaciones (IoT)	Felipe Elso	sicom.cl
15	Maderas JRU	Productos de Molduras de madera libre de nudos	Víctor Manuel Toro Placencia	Los Chonos 263, Buen Retiro, Coronel
16	Serviacce Ltda	Fabricante de equipos menores y cuchillos para la industria del alambre	Jaime Fuentes	serviacce.cl
17	Metalúrgica Arauco	Fabricante de embarcaciones para la industria pesquera y salmonera	Marcelo Núñez M.	metalurgicaarauco.cl
18	Seat Maderas	Productor de maderas elaboradas para exportación	Jaime González L.	Golfo Arauco 3655 P.I. Coronel
19	Rilan	Diseño, fabricación y montaje de equipos y estructuras	Rodrigo Miranda F.	rilan.cl
20	SIGU	Ingeniería y fabricación de equipos para la industria manufacturera	Thor Sielfeld E.	sigu.cl

Fuente: elaboración de los autores.

Cuadro A.2

Pauta estructurada aplicada a empresas

Pauta para entrevista guiada incorporación y uso de nuevas tecnologías digitales en las pymes manufactureras Región de Biobío (Chile)

Sección 1: Características de la empresa

Nombre de la empresa:
 Principales sectores de actividad:
 Principales productos:
 Localización (ciudad):
 Año de creación:
 Propiedad (nacional/extranjera):
 N° de empleados:
 Ventas totales (Solicitar que se clasifique dentro de un tramo de ventas):

Tramo de Ventas
 Facturación Anual Neta - 2018 (millones de pesos)
 Marcar tramo de ventas estimado

Mayor Menor a: o igual a:

1	0-70
2	70-250
3	250-500
4	500-1000
5	1000-2000
6	2000-2800
7	2800-5000
8	5000-7500
9	7500-15000
10	15000-

Nota: De acuerdo a la definición del Min. Economía, entre los tramos 2 y 6 corresponden a pymes conforme a su facturación neta anual.
 Exportaciones (Porcentaje de las ventas destinadas a mercados externos, 2018):
 Principales países a los que exporta (país destino, % del valor total exportado, 2018):

Sección 2: Panorama general de proyectos, inversiones o servicios contratados en nuevas tecnologías digitales

Pregunta 2.1	¿Su empresa implementó algún proyecto o contrató algún servicio relacionado a las nuevas tecnologías digitales?	¿Qué proyecto/inversión/servicio? Explique brevemente:
	Si	1.
	No	2.
	Planea hacerlo	3.
		n.

Pregunta 2.2 ¿Ha su empresa implementado algún proyecto o contratado algún servicio en alguna de las siguientes nuevas tecnologías digitales?

Tecnología	Si	No	Planea hacer	Área o función			¿Qué proyecto? Explique
				Producción	Innovación y diseño de productos	Logística de entrada y relación con los proveedores	
Sensores e Internet de las cosas							
Robótica avanzada							
Impresión aditiva/3D							
Computación en la nube							
Análítica de grandes datos							
Inteligencia artificial							
Otros: especifique							

Sección 3: detalle por proyecto, inversión o servicio contratado.

De la Sección 2 elija los proyectos más relevantes. Para cada uno de ellos conteste las siguientes preguntas:

Pregunta 3.1 Describa el proyecto, inversión o servicio contratado, precisando los aspectos tecnológicos
Especificar tecnología
¿es un proyecto donde hubo que realizar una inversión o es un servicio contratado que requiere un pago periódico?
Fecha de implementación o contratación
Uso u objetivo del proyecto, inversión o contratación
Origen de la información y tecnología, Etc.

Pregunta 3.2 ¿Cuáles fueron las motivaciones para implementar el proyecto/inversión o contratar el servicio de tecnología? Explique:

Califique:

Razón	Clasificación (1): principal(es) razón(es) (2): relevante, pero no la principal razón (3): poco o no relevante (4): no se aplica	Explicar (Solamente aquellos evaluados con (1))
Mejorar la eficiencia de una función o proceso Ahorro de costos Reemplazo de personal (1) Mejorar la calidad Mejorar la relación con el cliente Mejorar la relación con los proveedores Desarrollo de nuevos productos Desarrollo de nuevos servicios asociados (2) Desarrollo de nuevos modelos de negocio Otros (especifique):		

Pregunta 3.3 Detalle elementos relevantes sobre la forma en que se tomó la decisión de invertir o contratar servicios en nuevas tecnologías digitales.

Pregunta 3.4 ¿Cómo fue el proceso de implementación? ¿Cuáles fueron los principales problemas u obstáculos que tuvieron que ser superados? ¿Cómo los superaron?

Califique

Problemas u obstáculos enfrentados	Clasificación (1): principal(es) problema(s) (2): relevante, pero no el principal problema (3): poco o no relevante (4): no se aplica	Explicar (solamente los calificados con (1))

Interno a la empresa

Desconocimiento sobre la tecnología
Falta de interés/otros proyectos más urgentes requieren atención
Falta de interés/calificación negativa de costo-beneficio
No se dispone de recursos humanos calificados para la implementación
No se dispone de recursos financieros necesarios para la inversión
No se dispone de infraestructura y conectividad interna necesaria
Otros (especificar)

Externo a la empresa

Tecnología poco madura
Proveedores de productos tecnológicos o servicios faltantes
Falta oferta de financiamiento o condiciones de financiamiento no son adecuadas.
Poca disponibilidad en mercado laboral de personal calificado
Sistema de formación y entrenamiento insuficiente para nuevos requisitos
Infraestructura de información y comunicación débil o insuficiente.
Contexto macroeconómico
Inestabilidad de la economía
Otros (especificar):

Pregunta 3.5 Financiamiento.
¿Cómo se financió el proyecto? ¿Utilizan fuentes externas de financiamiento?
Evalúe la disponibilidad y la facilidad de acceso a fuentes externas de financiamiento.

Pregunta 3.6 Asistencia externa (pública o privada).
¿Usted recibió algún tipo de apoyo público o privado para la evaluación, el proyecto o implementación del proyecto/inversión?

Indique:

Apoyos utilizados	Si/No	Explique
GOBIERNO		
Incentivos/fondos subsidios		
Asesorías expertas		
Relación con o apoyo de centros tecnológicos		
Otros (especifique)		
ACADEMIA		
Contratos de asistencia con universidades		
Servicios de laboratorios		
Pasantías		
Otros (especifique):		
PRIVADOS		
Apoyo de asociaciones o centros empresariales		
Otros (especifique):		

Pregunta 3.7 ¿Cuáles son los principales problemas a los que se enfrenta en la operación rutinaria?

Pregunta 3.8 ¿Cuáles han sido los principales beneficios obtenidos a la fecha?

Califique

BENEFICIOS	CLASIFICACIÓN	EXPLIQUE
	1): Principal(es) beneficio(s)	(Solamente aquellos evaluados con (1))
	2): Relevante, pero el principal beneficio	Si es posible, cuantifique
	3): Poco o no relevante	
	4): No aplica	
<hr/>		
Mejorar eficiencia de una función o proceso		
Ahorro de costos		
Mejorar la calidad		
Reemplazo de personal		
Mejorar relación con clientes		
Mejora relación con proveedores		
Desarrollo de nuevo producto		
Desarrollo de nuevos servicios asociados*		
Desarrollo de nuevo modelo de negocios		
Otros (especifique):		

* El estudio está dirigido a empresas manufactureras.

Sección 4: El futuro

Pregunta 4.1	¿Está su empresa evaluando o planeando implementar algún proyecto o contratar algún servicio relacionado con las nuevas tecnologías digitales?	¿Qué proyecto/inversión/servicio? Explique brevemente:
	Está evaluando	1.
	Planea implementar	2.
	No está evaluando ni planeando implementar	3.
		n.
Pregunta 4.2	¿Está su empresa evaluando o planeando implementar algún proyecto o contratar algún servicio en alguna de las siguientes <u>nuevas tecnologías digitales</u> ?	

Tecnología	A	B	C	Producción	Innovación y diseño de productos	Área o función Logística de entrada y relación con proveedores	Marketing y relación con el cliente	Otra área	¿Qué proyecto? Explique.
Sensores e Internet de las cosas									
Robótica avanzada									
Impresión aditiva/3D									
Computación en la nube									
Analítica de grandes datos									
Inteligencia artificial									
Otros: especifique									

A: está evaluando; B: planea implementar; C: no está evaluando o planea implementar

Pregunta 4.3	Para el principal proyecto ¿Cuáles son las motivaciones para implementar el proyecto/inversión o contratar el servicio tecnológico? Explique:
--------------	---

Califique:

Razón	Clasificación (1): principal(es) razón(es) (2): relevante, pero no la principal razón (3): poco o no relevante (4): no aplica	Explique (Solamente aquellos evaluados con (1))
Mejorar la eficiencia de una función o proceso		
Ahorro de costos		
Reemplazo de persona		
Mejorar la calidad		
Mejorar la relación con los clientes		
Mejorar la relación con los proveedores		
Desarrollo de nuevos productos		
Desarrollo de nuevos servicios asociados*		
Desarrollo de nuevos modelos de negocios		
Otros (especifique:		

* El estudio está dirigido a empresas manufactureras.

Pregunta 4.4 ¿Cuenta su empresa con las capacidades para implementar el nuevo proyecto o hacer uso de los servicios que se contraten? ¿Cuáles son los problemas u obstáculos que enfrenta?

Califique:

Problemas u obstáculos	Clasificación (1): Principal(es) problema(s) (2): Relevante, pero no el principal problema (3): Poco o no relevante (4): No aplica	Explique (solo los calificados con (1))
Internos a la empresa		
Desconocimiento sobre la tecnología Falta de interés/otros proyectos más urgentes requieren atención Falta de interés/evaluación de costo-beneficio negativa No se disponen de los recursos humanos calificados para la implementación Si/No se dispone de los recursos financieros necesarios para la inversión No se dispone de la infraestructura y conectividad interna necesaria Otros (especifique)		
Externos a la empresa		
Tecnología poco madura Falta de proveedores de productos o servicios tecnológicos. Falta oferta de financiamiento o condiciones de financiamiento no son adecuadas. Poca disponibilidad en mercado laboral de personal calificado Sistema de formación y capacitación insuficiente para nuevos requerimientos Infraestructura de información y comunicaciones débil o insuficiente. Contexto macroeconómico Inestabilidad de la economía Otros (especifique):		

Pregunta 4.5 **Financiamiento.**
¿Cómo financiará el proyecto? ¿Utilizarán fuentes externas de financiamiento? Evalúe la disponibilidad y la facilidad de acceso a fuentes externas de financiamiento.

Pregunta 4.6 **Ayuda externa (pública o privada).**
¿Está o espera recibir algún tipo de apoyo público o privado para la evaluación, diseño o implementación del proyecto/inversión?

Indique:

Apoyos	Si/No	Explique
Gobierno Incentivos/fondos subsidios Asesorías expertas Relación con o apoyo de centros tecnológicos Otros (especifique)		
Academia Contratos asistencia con Universidades Servicios de laboratorio Pasantías Otros (especifique):		
Privados Apoyo de asociaciones o centros empresariales Otros(especifique):		

Sección 5: notas del entrevistador.

- 5.1 Temas relevantes para este caso, no recogidos en las preguntas anteriores
- 5.2 Temas sugeridos a incorporar en el cuestionario
- 5.3 Evaluación general sobre la capacidad de la empresa para incorporar y obtener beneficio de las nuevas tecnologías digitales.

Fuente: Elaboración de los autores, sobre la base de la información recopilada en las entrevistas.

Este documento forma parte de una serie de estudios que analizan la penetración de las tecnologías digitales avanzadas (inteligencia artificial, realidad virtual y realidad aumentada, impresión aditiva e Internet de las cosas, entre otras) en las micro, pequeñas y medianas empresas (mipymes) de América Latina.

En la presente publicación, se analiza la experiencia de 20 pequeñas y medianas empresas (pymes) manufactureras de la región chilena del Biobío. Los investigadores postulan que la capacidad de absorción de nuevos conocimientos de las empresas se correlaciona directamente con variables como la cultura y el perfil de liderazgo empresarial, su tecnología, el grado de preparación del personal y las relaciones con el entorno. Partiendo de esta base, se tipifican las empresas y se profundiza en el análisis de las motivaciones que las indujeron a invertir en nuevas tecnologías, así como de los obstáculos que enfrentaron y los logros que han alcanzado hasta la fecha.

Esta investigación se inscribe en el marco del proyecto de colaboración entre la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y la Universidad Nacional de Rafaela de la Argentina, y forma parte de las actividades llevadas a cabo en el marco del proyecto EUROMIPYME, financiado por la Unión Europea.

