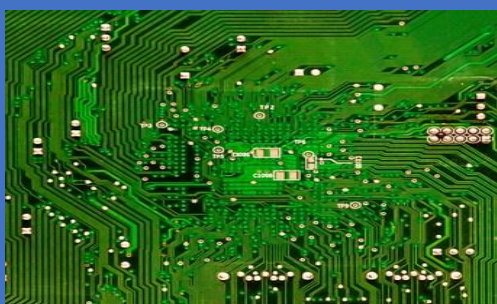




En este documento se presenta la opinión de la Academia, en relación a la situación de la ingeniería y la formación de ingenieros en Chile, frente a los cambios tecnológicos y sociales que se producen en el país y en el mundo.

En él se propone una visión sobre la ingeniería, su futuro y los aspectos básicos necesarios para la formación de sus profesionales.

Visión de Futuro de la Ingeniería y de los Ingenieros en Chile



Santiago de Chile

Diciembre 2018



VISIÓN DE FUTURO DE LA INGENIERÍA Y DE LOS INGENIEROS EN CHILE

Informe Final

Diciembre 2018

ACADEMIA DE INGENIERÍA DE CHILE

La **ACADEMIA DE INGENIERÍA DE CHILE** es una fundación sin fines de lucro, constituida por acuerdo del Directorio del Instituto de Ingenieros de Chile en octubre de 2009. Su objetivo consiste en preservar, apoyar y estimular el conocimiento, progreso, investigación, creación, desarrollo y difusión de las ciencias de la ingeniería en el país. Además, emite su opinión independiente sobre los problemas que aquejan al país, desde el punto de vista de la ingeniería en forma imparcial, profunda y documentada. De esta manera, beneficia al país a través de un sólido aporte.

Para estos efectos reúne a 36 miembros de número de gran prestigio nacional y a destacados integrantes del extranjero en torno al estudio y análisis de los retos actuales y futuros de la ingeniería chilena. Desde su creación, se organizó para desarrollar diversas actividades en pro de sus fines, entre ellas, estableciendo contactos con el Ministerio de Educación, los presidentes del Instituto de Chile y de la Academia Chilena de Ciencias y las Academias Mexicana y Norteamericana de Ingeniería.

También participó en la organización de los Congresos del Futuro del Senado de la República. Además, realizó charlas internas dictadas por destacadas personalidades y expertos nacionales y extranjeros sobre educación en ingeniería, seguridad de reactores nucleares de potencia, perspectivas de desarrollo del sector eléctrico chileno y finanzas en el desarrollo nacional, entre otras.

Directorio

Presidente

Mauricio Sarrazín Arellano

Vicepresidente

Elías Arze Cyr

Secretario

Juan Enrique Coeymans Avaria

Tesorera

Sally Bendersky Schachner

Director

Jorge Yutronic Fernández

Comité Editorial

Mauricio Sarrazín Arellano

Elías Arze Cyr

Juan Enrique Coeymans Avaria

Sally Bendersky Schachner

Jorge Yutronic Fernández

Editor General

Juan Carlos Barros Monge

Fundación Academia de Ingeniería de Chile



Dirección: San Martín 352, Santiago – Chile

Contacto: +56 2 2696 8647 – +56 2 2698 4028

Mail: academiadeingenieria@gmail.com

Web: <http://www.academiadeingenieriadechile.cl>

El presente documento es propiedad de la Fundación Academia de Ingeniería. Se autoriza su reproducción total o parcial, citando la fuente.

Miembros de número

José Miguel Aguilera Radic
Elías Arze Cyr
Ricardo Badilla Ohlbaum
Ricardo Baeza-Yates
Bruno Behn Theune
Sally Bendersky Schachner
Francisco Brieva Rodríguez
Aldo Cipriano Zamorano
Juan Enrique Coeymans Avaria
Gonzalo Cortázar Sanz
Pedro Courard Berkans
Juan Carlos De la Llera Martin
Hernán de Solminihac Tampier
Hugh Rudnick Van de Wyngard
Esteban Domic Mihovilovic
Bernardo Domínguez Covarrubias
Álvaro Fischer Abeliuk
Tomás Guendelman Bedrack
Diego Hernández Cabrera
Edgar Kausel Vecchiola
Rodolfo Américo Krause Lubascher
Sergio Lavanchy Merino
Alejandro Maass Sepúlveda
Nicolás Majluf Sapag
Patricio Meller Bock
Juan Music Tomicic
Andrés Navarro Heussler
Miguel Nussbaum Voehl
Juan de Dios Ortúzar Salas
Alfredo Piquer Gardner
José Rodríguez Pérez
Javier Ruiz del Solar
Mauricio Sarrazín Arellano
Luis Valenzuela Palomo
Andrés Weintraub Pohorille
Jorge Yutronic Fernández

Miembros correspondientes

Juan Alfonso Asenjo De Leuze De Lancizolle
Arnoldo Hax
Eduardo Kausel
Marcos Lima Aravena
Ricardo Nicolau del Roure García de Castro

El presente informe representa la opinión de la Academia de Ingeniería de Chile sobre la situación actual de la disciplina y su rol a nivel nacional en el contexto de los cambios tecnológicos y sociales que experimenta el país y el mundo y las transformaciones que deberían darse en la preparación de los futuros ingenieros.

Este informe, mas que un documento final, debe ser considerado como el punto de partida de una agenda de trabajo orientada a entender, valorar y poner en contexto las profundas transformaciones de la sociedad, identificar sus desafíos y oportunidades para la ingeniería en general y para la ingeniería chilena en particular y establecer la mejor manera para formar a los ingenieros para la próxima década.

Agradecimientos

Esta publicación fue posible gracias al Convenio de Colaboración y Transferencia de Recursos suscrito entre la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) y la Fundación Academia de Ingeniería (AICH). La Academia agradece el apoyo prestado en su elaboración a los Ingenieros de esta institución: Eduardo Bitran C., Marcela Angulo G., Marcia Varela A. y René Villegas A.

La Academia de Ingeniería de Chile hace un especial reconocimiento a aquellas personas que aceptaron la invitación a compartir sus visiones sobre el futuro de la ingeniería y de los ingenieros en Chile; corresponde dejar constancia además del reconocimiento a los Miembros del Comité de Redacción, ingenieros: Mauricio Sarrazín A., Elías Arze C., Juan Enrique Coeymans A., Sally Bendersky S. y Jorge Yutronic F. y al editor general de la publicación, ingeniero Juan Carlos Barros M.

Finalmente, un reconocimiento al periodista Sr. Marcelo Casares por el trabajo de realización de entrevistas presenciales y revisión del documento final y al Ingeniero Mauro Grossi P. por la realización de encuestas en línea. Se hace extensivo este reconocimiento al Sr. Carlos Gauthier T, Secretario Ejecutivo de la Fundación, por el apoyo prestado al trabajo realizado.

Prefacio

En el marco de las actividades propias de la Academia, se estableció un convenio de colaboración con la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), complementario al Programa Nueva Ingeniería para el 2030 (Ing2030), que mantiene esta institución con las universidades chilenas.

El presente informe corresponde a la opinión solicitada a la Academia, en el ámbito de este convenio, sobre la situación de la ingeniería y la formación de ingenieros en Chile, frente a los cambios tecnológicos y sociales que se producen en el país y en el mundo.

Este documento se sustenta en una variada cantidad de antecedentes que conforman una primera visión y esboza propuestas de estrategias de acción para identificar oportunidades para la ingeniería nacional y formar a los ingenieros del futuro.

Este trabajo se centra en la ingeniería y en las oportunidades para ella, para los ingenieros y para la formación de ingenieros de Base Científica¹. Se realiza una síntesis de planteamientos de entidades internacionales y nacionales sobre los desafíos y tendencias de la ingeniería y la formación de ingenieros, además, en base a estos antecedentes y a entrevistas realizadas a los miembros de número de la Academia y a quienes ejercen la profesión, se propone una visión sobre la ingeniería, su futuro y los aspectos básicos necesarios para la formación de sus profesionales.

Dentro de esta perspectiva se anticipa que el perfil del ingeniero de la próxima década se caracterizará por:

- Una fuerte formación en matemáticas, ciencias básicas y ciencias de la ingeniería, habilidades que no sufren mayor obsolescencia y permiten adaptarse a los grandes cambios tecnológicos del futuro, formación que deberá ser lo suficientemente flexible como para que los ingenieros puedan adaptarse a las nuevas tecnologías. Deberá contemplar, también, aspectos de informática, cibernética y ciencias biológicas.
- Conocimientos actualizados en una especialidad, con mayor énfasis en ingeniería aplicada y orientada a preparar profesionales considerando las necesidades del país y sus oportunidades de desarrollo futuro, con capacidad de auto-aprendizaje para mantenerse actualizado durante el ejercicio profesional y poder gestionar adecuadamente las nuevas tecnologías.
- Formación amplia, capaz de entender distintas visiones, orientada a preparar a los ingenieros para un mundo global, con resultados de aprendizaje mínimos alineados con los estándares internacionales y dominio del idioma inglés, indispensable para comunicarse en un mundo globalizado.
- Habilidades sociales para establecer relaciones con pares, tanto locales como extranjeros, profesionales de otras disciplinas y comunidades.

¹ En Chile se pueden distinguir, en términos de su formación, dos tipos de ingenieros: Ingenieros de Base Científica, que corresponden a los ingenieros civiles e Ingenieros de Base Tecnológica, que corresponden a los ingenieros de ejecución o ingenieros en alguna especialidad. La ley establece que las Ingenierías Civiles pueden ser dictadas solamente por universidades, las que deben entregar además el grado de Licenciado en Ciencias de la Ingeniería, en tanto que las otras ingenierías, pueden ser dictadas por universidades o institutos profesionales, no siendo necesaria la entrega de algún grado académico.

- Formación en aspectos humanistas y éticos para realizar su trabajo respetando a la comunidad, entorno y medioambiente que representarán un valioso aporte en el proceso de toma de decisiones en los cargos de responsabilidad que seguramente asumirá.
- Capacidad para dirigir y gestionar proyectos , organizaciones y emprendimientos con una visión moderna.

Se estima que el proceso de formación anterior debe tener una duración de alrededor de 10 semestres y que esta formación deberá completarse, para la obtención del título de Ingeniero Civil, con una práctica profesional supervisada por un ingeniero senior durante un periodo suficiente como para que adquiera independencia en su trabajo.

A su vez, las escuelas de ingeniería emplearán las últimas tecnologías de enseñanza para mejorar los resultados de aprendizaje, tasas de retención y tiempo de titulación, tales como educación en línea, aprendizaje activo y basado en casos y proyectos, uso de softwares especializados, trabajo en laboratorios actualizados y una formación más centrada en el desarrollo personal.

El informe se estructura en diez capítulos.

En el primero se plantea el contexto que origina este informe y el proceso seguido para su elaboración, indicando las preguntas básicas, que éste debería ayudar a contestar.

En el segundo capítulo se presentan las grandes transformaciones en el mundo: cambios demográficos, desplazamiento del poder económico global, urbanización y expansión de las ciudades, escasez de recursos, cambio climático y transformación digital, transformaciones con potencial de alterar y modificar el mundo en que vivimos y en las que la ingeniería tiene injerencia.

En el tercero se abordan los desafíos y tendencias de la ingeniería y la tecnología para el siglo XXI identificados por Naciones Unidas, la *National Academy of Engineering* de Estados Unidos (NAE), el *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) y el Instituto de Ingenieros de Chile. Estas, junto con las transformaciones sociales indicadas anteriormente, presentan nuevos desafíos y oportunidades para la ingeniería y para los ingenieros, las que se identifican en el cuarto capítulo.

En el quinto apartado se caracterizan los ingenieros que se forman en el país, sus capacidades técnicas y de gestión, nivel de formación y especialización. En el capítulo sexto se analizan las capacidades científicas y tecnológicas desarrolladas en el país.

En el séptimo se plantean las oportunidades más provechosas para la ingeniería y los ingenieros chilenos, a raíz de los desafíos y tendencias indicados, a las capacidades existentes o a las iniciativas en curso.

Existe consenso en que se necesita modernizar el sistema de enseñanza de la ingeniería y adaptarlo a los nuevos desafíos, estableciendo metodologías acordes a este cambio y a nuestra realidad. Por ello, en el capítulo octavo se presenta la visión de la Academia sobre el sistema actual de formación de ingenieros civiles y en el capítulo noveno se acompaña nuestra propuesta, que busca formar a los ingenieros del futuro, habilitarlos y mantenerlos vigentes para que enfrenten los nuevos desafíos de la profesión.

Finalmente, en el décimo capítulo, se entrega una agenda de trabajo con los temas que, en opinión de la Academia, deberían abordarse en otras instancias.

Esperamos, a través de la difusión de este documento, iniciar una primera conversación, desde la Academia de Ingeniería de Chile hacia la sociedad, que identifique las oportunidades que se presentan en la actualidad y en el futuro, y que sean aprovechadas en beneficio de la ingeniería, los ingenieros y la sociedad chilena.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	14
2. MEGA TENDENCIAS SOCIALES	16
2.1 Transformaciones demográficas	16
2.1.1 Incremento de la población.....	16
2.1.2 Envejecimiento de la población	18
2.1.3 Aumento de las migraciones	20
2.2 Desplazamiento del poder económico global	20
2.2.1 Foco de crecimiento mundial	21
2.2.2 Expansión de las clases medias	21
2.2.3 Consumo de las clases medias	21
2.3 Urbanización y expansión de las ciudades	22
2.3.1 Creciente urbanización	22
2.3.2 Expansión de las ciudades	23
2.4 Escasez de recursos	24
2.4.1 Disponibilidad de tierra	24
2.4.2 Disponibilidad de agua	25
2.4.3 Suministro de energía.....	25
2.5 Cambio climático	25
2.5.1 Calentamiento global	26
2.5.2 Pérdida de biodiversidad.....	26
2.6 Transformación digital	27
2.6.1 Tecnologías relevantes para el desarrollo.....	28
2.6.2 Masificación del acceso al conocimiento	29
2.6.3 Efecto de las nuevas tecnologías en el empleo	29
3. DESAFÍOS Y TENDENCIAS DE LA INGENIERÍA Y LA TECNOLOGÍA	31
3.1 ONU, objetivos de desarrollo	31
3.2 Ingeniería, grandes desafíos	32
3.2.1 Sustentabilidad.....	33
3.2.2 Salud humana	34
3.2.3 Vulnerabilidad	35
3.2.4 Mejoramiento en la vida de las personas	36
3.2.5 Tecnologías de información y comunicaciones	37
3.3 Tendencias de la ingeniería global.....	38
3.3.1 Sustentabilidad.....	38
3.3.2 Salud humana	41
3.3.3 Vulnerabilidad	42
3.3.4 Mejoramiento en la vida de las personas	43
3.3.5 Procesos de manufactura	44
3.3.6 Tecnologías de información y comunicaciones	45
3.4 Tecnologías emergentes	47
3.4.1 Sustentabilidad.....	47
3.4.2 Salud humana	48

3.4.3 Vulnerabilidad	49
3.4.4 Mejoramiento en la vida de las personas	49
3.4.5 Procesos de manufactura	50
3.4.6 Inteligencia artificial	51
3.5 Perspectivas de la ingeniería.....	52
4. OPORTUNIDADES PARA LA INGENIERÍA Y LOS INGENIEROS	54
4.1 Mega tendencias sociales	54
4.2 ONU, objetivos de desarrollo	56
4.3 Ingeniería, grandes desafíos	57
4.4 Tendencias de la ingeniería global.....	58
4.5 Tecnologías emergentes	60
5. CARACTERIZACIÓN DE LOS INGENIEROS Y SU FORMACIÓN	61
5.1. Interés por seguir carreras tecnológicas	61
5.1.1 Interés por carreras de pregrado	61
5.1.2 Interés por estudios de postítulo y postgrado	62
5.2 Población de ingenieros.....	63
5.3. Sistema de formación de pregrado.....	64
5.3.1 Matrícula anual.....	65
5.3.2 Titulación anual	66
5.4. Sistema de formación de postítulo y postgrado	70
5.4.1 Matrícula anual.....	70
5.4.2 Titulación anual	72
5.5 Aseguramiento de la calidad en la formación	75
5.5.1 Antecedentes generales de la acreditación	75
5.5.2 Acreditación Institucional.....	75
5.5.3 Acreditación de carreras	77
6. CAPACIDADES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS.....	79
6.1 Políticas de tecnología e innovación.....	79
6.1 Centros científicos	80
6.1.1 Iniciativa Científica Milenio	80
6.1.2 Centros Fondap	80
6.1.3 Centros científicos y tecnológicos de excelencia	81
6.2 Capacidades tecnológicas habilitantes para innovación y bienes públicos	82
6.2.1 Centros de excelencia internacional	82
6.2.2 Centros tecnológicos en focos prioritarios.....	84
6.3. Programas tecnológicos estratégicos	85
7. OPORTUNIDADES PARA LA INGENIERÍA EN CHILE.....	86
7.1 Aspectos generales.....	86
7.1.1 Rol de los ingenieros.....	86
7.1.2 La mujer en la ingeniería	87
7.1.3 Decisiones técnicas y políticas en proyectos públicos	88

7.1.4 Ingenieros y áreas de desarrollo tecnológico.....	88
7.1.5 Vinculación de la universidad con el medio	88
7.2 Oportunidades que aprovechar en Chile	90
7.3 Transformación de recursos naturales.....	91
7.4 Infraestructura y construcción	93
7.5 Condiciones geográficas únicas	94
7.6 Nuevas tecnologías.....	97
7.7 Gestión	98
8. VISIÓN DE LA FORMACIÓN ACTUAL DE LOS INGENIEROS CIVILES.....	100
8.1 Principales fortalezas en la formación de los ingenieros	100
8.2 Principales debilidades en la formación de los ingenieros	101
8.3 Principales características de la formación	102
8.3.1 Metodología de enseñanza y sistema de evaluación	102
8.3.2 Estructura de las carreras	103
8.4 Diferencia en la formación entre diferentes universidades	105
9. PROPUESTAS DE FORMACIÓN DE LA ACADEMIA DE INGENIERÍA	106
9.1 Tendencias globales en la formación de ingenieros	106
9.2 Orientaciones para la formación de ingenieros en Chile.....	107
9.2.1 Perfil de ingreso.....	107
9.2.2 Foco en necesidades del país y oportunidades de desarrollo.....	107
9.2.3 Vinculación con el medio y formación empírica	107
9.2.4 Formación para un mundo global	108
9.3 Estructura de la carrera	108
9.3.2 Formación base	108
9.3.3 Nivel de especialización.....	109
9.3.4 Perfil de egreso.....	109
9.4. El currículo	109
9.4.1 Currículo flexible.....	109
9.4.2 Formación terminal o con salidas intermedias	109
9.4.3 Integración con otras disciplinas y profesiones	110
9.5 Duración de la carrera	110
9.6 Metodologías de enseñanza	111
9.6.1 Nuevo rol del profesor	111
9.6.2 Metodologías de enseñanza - aprendizaje.....	111
9.6.3 Recursos de enseñanza y aprendizaje	112
9.7 Fortalecimiento y desarrollo de competencias	113
9.7.1 Mantener la formación en ciencias básicas	113
9.7.2 Habilidades técnicas	114
9.7.3 Habilidades sociales.....	115
9.7.4 Habilidades personales.....	116
9.9 Acreditación y habilitación profesional	117
9.8 Educación continua	118

10. DESAFIOS A FUTURO.....	119
10.1 Aspectos generales.....	119
10.2 Formación de ingenieros.....	119
10.2.1 Formación de pregrado	119
10.2.2 Formación de postgrado y educación continua	119
10.3 Acreditación de las carreras	120
10.4 Habilitación profesional.....	120
REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA	121
GLOSARIO	122
ANEXOS	123
Anexo N° 1: Objetivos de Desarrollo Sostenible de ONU	123
Anexo N° 2: Número de ingenieros graduados en diferentes países.....	124
Anexo N° 3: Matrícula por carrera, primer año de ingeniería (2018)	125
Anexo N° 4: Ingenieros civiles titulados en por universidad (2017)	127
Anexo N° 5: Universidades, años y áreas acreditadas	129
Anexo N° 6: Centros científicos y tecnológicos de excelencia	131
Anexo N° 7: Centros de excelencia internacional.....	134
Anexo N° 8: Centros tecnológicos en focos prioritarios.....	137
Anexo N° 9: Programas tecnológicos estratégicos	139
Anexo N° 10: Metodología de trabajo.....	142
Anexo N° 11: Programa Chiletransforma.....	143
Anexo N° 12: Proyecto MECESUP.....	147
Anexo N° 13: Proyecto CORFO Ingeniería 2030.....	148
Anexo N° 14: Acreditación ABET y CDIO	149

Índice de figuras

Figura 1: Población mundial y proyección al año 2100 en diferentes escenarios de fecundidad.	17
Figura 2: Proyección de la tasa global de fecundidad, 2050-2055 (niños por mujer).....	18
Figura 3: Distribución etaria de la población mundial y proyección al 2050.	19
Figura 4: Distribución etaria de la población de Chile y proyección al 2050.	19
Figura 5: Cantidad de migrantes en regiones desarrolladas y en desarrollo.	20
Figura 6: Población que residirá en áreas urbanas al año 2050	23
Figura 7: Número de megaciudades y tasa de crecimiento al 2050	23
Figura 8: Proyección de superficie arable al año 2050 (hectáreas en uso por persona).	24
Figura 9: Demanda mundial de agua: escenario de referencia, 2000 y 2050.....	25
Figura 10: Emisiones globales de CO ₂ por fuente y proyección al año 2050.....	26
Figura 11: Efectos de los diferentes factores sobre la Abundancia Media de Especies (AME)	27
Figura 12: Tiempo de ingreso al mercado de nuevas tecnologías en Estados Unidos.	27
Figura 13: Objetivos del milenio (ODM).....	31
Figura 14: Objetivos de desarrollo sostenible (ODS).	32
Figura 15: Grandes desafíos para la ingeniería.	33
Figura 16: Porcentaje de alumnos matriculados en 1er. año de universidad por área. Año 2018.....	61
Figura 17: Alumnos matriculados por área y género 1er. año de educación. Año 2018.....	62
Figura 18: Alumnos matriculados en 1er. año por área y nivel de estudio. Año 2018.	62
Figura 19: Alumnos matriculados 1er. año de postgrado-postítulo por área y género. Año 2018.	63
Figura 20: Porcentaje de carreras por tipo de universidad. Año 2017.	64
Figura 21: Distribución de alumnos matriculados por área de tecnología. Año 2018.....	65
Figura 22: Evolución de brecha de género alumnos matriculados en primer año.	66
Figura 23: Número de ingenieros civiles titulados por tipo de universidad. Año 2017.	66
Figura 24: Número de Ingenieros civiles titulados por año. Período 2008 al 2017.	67
Figura 25: Número de titulados por universidad. Año 2017.....	67
Figura 26: Evolución brecha de género ingenieros titulados período 2007-2017.....	68
Figura 27: Número de titulados por especialidad. Año 2017.	68
Figura 28: Evolución número de titulados por especialidad. 2007-2017.....	69
Figura 29: Programas de postítulo o postgrado por tipo de universidad. Año 2018.....	70
Figura 30: Programas de postítulo o postgrado por tipo de programa. Año 2018.....	70
Figura 31: Alumnos matriculados en postítulo o postgrado, por área OCDE y género. Año 2018.....	71
Figura 32: Número de profesionales titulados por tipo de universidad. Año 2017.....	72
Figura 33: Número de profesionales titulados por programa y tipo de universidad. Año 2017.	72
Figura 34: Evolución brecha de género profesionales titulados período 2017-2017.....	73
Figura 35: Porcentaje de titulados en programas de magister por área. Año 2017.	73
Figura 36: Número de profesionales titulados por año y tipo de universidad. Período 2008 al 2017.	74
Figura 37: Distribución de becas de postgrado por área. Año 2017.....	74
Figura 38: Número de universidades y plazo de acreditación. Año 2018.....	76
Figura 39: Porcentaje de universidades por tramo de acreditación. Año 2018.	77
Figura 40: Porcentaje de alumnos por tramo de acreditación. Año 2018.	77
Figura 41: Evolución en ranking de Leiden. universidades chilenas mejor clasificadas.	89
Figura 42: Posiciones en ranking de Leiden, universidades chilenas mejor clasificadas.	90

Índice de tablas

Tabla 1: Número y porcentaje de la clase media mundial por región (millones de personas).....	21
Tabla 2: Gasto de la clase media mundial por región (millones de US\$).....	22
Tabla 3: ODS en los que la ingeniería tiene la más alta relevancia.	56
Tabla 4: ODS en los que la ingeniería tiene un rol importante.	57
Tabla 5: Alumnos matriculados en 1er. año, por área de tecnología OCDE. Año 2018.....	65
Tabla 6: Brecha de género ingenieros titulados en el año 2017 por tipo de universidad.	68
Tabla 7: Titulados por región y ciudad el año 2017.	69
Tabla 8: Alumnos matriculados en postítulo o postgrado, por tipo de programa. Año 2018.	71
Tabla 9: Alumnos matriculados en postítulo o postgrado, por área OCDE de tecnología. 2018.....	71
Tabla 10: Brecha de género profesionales titulados en el año 2017 por tipo de universidad.	73
Tabla 11: Panorama general de acreditación institucional 2018.....	76
Tabla 12: Centros científicos y tecnológicos asignados concurso año 2007.....	81
Tabla 13: Centros científicos y tecnológicos asignados concurso año 2008.....	81
Tabla 14: Centros científicos y tecnológicos asignados concurso año 2013.....	82
Tabla 15: Centros institucionales de excelencia internacional	82
Tabla 16: Centros corporativos de excelencia internacional	83
Tabla 17: Centros tecnológicos orientados a innovación.	84
Tabla 18: Programas tecnológicos estratégicos.....	85
Tabla 19: Porcentaje de carreras de ingeniería por número de semestres. Año 2017.	104
Tabla 20: Evolución porcentaje de carreras de ingeniería por número de semestres	104
Tabla 21: Número de horas lectivas de ciencias básicas.....	105

1. INTRODUCCIÓN

Vivimos en un mundo sometido a un proceso de cambios acelerados donde la tecnología transforma la economía, las empresas, la sociedad y la vida de las personas. Esto genera nuevos desafíos y también oportunidades para la ingeniería y los ingenieros.

En este escenario, resulta necesario generar una discusión profunda, a nivel país, sobre el impacto que tienen hoy y el que tendrían en el futuro estos cambios en el ejercicio de la profesión de ingeniero y en cómo formar a los futuros profesionales.

Este documento constituye el resultado de un conjunto de entrevistas a los miembros de número de la Academia y a un grupo selecto de destacados ingenieros nacionales de diferentes especialidades, así como también de las opiniones de una encuesta masiva, a través de internet, de ingenieros que se desempeñan en distintas instancias: universidades, asociaciones gremiales y profesionales, empresas públicas, empresas privadas de producción y servicios y empresas consultoras.

Con estos antecedentes, complementados con estudios nacionales y extranjeros, se elaboró un primer documento que fue sometido a discusión en el seno de la Academia, contrastándose en este proceso las opiniones cualitativas de los entrevistados con la información cuantitativa proveniente de los estudios. Esto para lograr una visión de futuro de la ingeniería chilena, sin los sesgos propios de las visiones personales. Este trabajo representa el resultado de este proceso. En general, se buscó reflejar, a partir de apreciaciones de la situación actual, una visión de futuro de la ingeniería y de la formación de los ingenieros. Se apuntó a obtener opiniones de consenso, pero cuando ello no fue posible se mantuvieron las diferentes posiciones. Se entregan visiones sobre los temas más relevantes con la intención que representen una referencia para el estudio de materias específicas en mayor profundidad.

En relación con la formación de los ingenieros del futuro, se debe considerar que ellos se insertarán en un mundo diferente al actual, por los drásticos y acelerados cambios que sufre la humanidad, tanto en el ámbito social como el científico-tecnológico.

También hay que subrayar que la actividad humana provoca transformaciones irreversibles en la naturaleza y el agotamiento de los recursos naturales, que resultan escasos para mantener a una población creciente y con mejores estándares de vida. En el logro de un equilibrio entre recursos y mejor calidad de vida de la población, el uso de la ciencia y la tecnología jugarán un papel fundamental.

El mundo está sometido a un proceso de cambios acelerados en los que la tecnología transforma la economía, las empresas, la sociedad y la vida de las personas, generando nuevos desafíos y también oportunidades para la ingeniería y los ingenieros.

Es necesario generar una discusión, a nivel país, sobre el impacto que tienen hoy y el que podrían tener en el futuro los cambios en el ejercicio de la profesión de ingeniero y en cómo formar a los futuros profesionales.

Los ingenieros se convertirán en protagonistas, tanto en el desarrollo de nuevas tecnologías como en el diseño, construcción y mantención de instalaciones para la producción de los objetos necesarios para facilitar la vida de las personas.

Algunas preguntas para considerar, para alcanzar los objetivos planteados y que este estudio ayuda a contestar son:

¿Cuáles son las oportunidades que se presentan hoy y en el futuro para la ingeniería y los ingenieros en Chile?

¿Cuáles son las características de los ingenieros que formaremos para aprovechar estas oportunidades?

El país materializó esfuerzos para abordar estos desafíos a través de diferentes iniciativas como los programas de instalación de centros científicos y tecnológicos de excelencia, programas tecnológicos estratégicos, Chiletransforma² e Ingeniería 2030 de CORFO y MECESUP³, del Ministerio de Educación, entre otros pero, a pesar de ello, el país no avanzó con mayor determinación y velocidad en el aprovechamiento de las actuales oportunidades, por lo que aparecen otras preguntas, cuyas respuestas deben ser analizadas en mayor profundidad. Estas son:

¿Por qué la ingeniería chilena participa poco en la creación de las tecnologías que el país necesita para su desarrollo, pero cumple un rol valioso principalmente en su aplicación, instalación y operación?

¿Cómo puede abordar la ingeniería el desafío de la innovación y la creación de nuevas industrias?

² <http://www.chiletransforma.cl>

³ http://dfi.mineduc.cl/index2.php?id_portal=59&id_seccion=4734&id_contenido=25490

2. MEGA TENDENCIAS SOCIALES

Vivimos en un mundo de cambios acelerados en el que la tecnología transforma la economía, las empresas, la sociedad y la vida de las personas. Una parte importante de los cambios son provocados por los avances en ciencia⁴, tecnología⁵, ingeniería⁶ y matemáticas (STEM⁷). El aumento sostenido de la población humana y la disminución en la mortalidad⁸, responden en gran parte a las obras de ingeniería sanitaria, antibióticos e higiene. Por su parte, al cambio climático contribuye el uso de combustibles fósiles en motores de combustión interna y plantas termoeléctricas, diseñadas por ingenieros. Además, el incremento de personas que viven en zonas urbanas responde a las mejores condiciones de vida y de bienestar económico al que tienen acceso al vivir en la ciudad.

El entender la relación entre STEM y las transformaciones sociales resulta clave para comprender de mejor manera los desafíos y oportunidades que se presentan hoy para la ingeniería y los ingenieros, identificar los ámbitos tecnológicos y de ingeniería más pertinentes de abordar en forma profunda y proyectar los nuevos espacios de acción para la ingeniería y la formación de los futuros ingenieros.

En este capítulo se presentan las transformaciones sociales mundiales, agrupadas en seis mega tendencias, relacionadas entre sí. Cada una de ellas cuenta con el potencial de alterar y modificar el mundo en que vivimos y en las que la ingeniería tiene injerencia: transformaciones demográficas, desplazamiento del poder económico global, urbanización y expansión de las ciudades, escasez de recursos, cambio climático y transformación digital.

2.1 Transformaciones demográficas

El mundo experimenta una importante transformación demográfica, caracterizada por el incremento continuo en el número de habitantes, envejecimiento de la población y aumento en los procesos migratorios. Estos eventos generan cambios importantes en la demografía de la sociedad global y requieren respuestas oportunas de parte de los gobiernos para aprovechar las oportunidades y prevenir los conflictos.

2.1.1 Incremento de la población

La población mundial aumenta de manera sostenida. En el año 1960, ésta superaba los 3.000 millones de personas, al inicio del nuevo milenio se duplicó hasta sobrepasar levemente los 6.200 millones. En el año 2015, la población mundial alcanzó los 7.300 millones.

La División de Población del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (UNDESA) planteó para los próximos años, dependiendo de la Tasa Global de Fecundidad (TGF)⁹, cuatro escenarios de fertilidad: alta, media, baja y constante. En un contexto de fertilidad media, se espera que el año 2030, la población mundial supere los 8.500 millones de personas y al año 2050 alcance los 9.700

⁴ La ciencia es entendida como un conjunto de conocimientos, organizados de forma sistemática y obtenidos a partir de la observación, experimentación y razonamientos dentro de un área específica, valiéndose del método científico.

⁵ La tecnología la podemos definir como un cuerpo de conocimiento acerca de cómo hacer las cosas ("*Know How*") y porqué tales cosas han sido hechas de cierta forma ("*Know Why*").

⁶ La ingeniería es una profesión basada en el dominio y aplicación de las ciencias físicas y matemáticas, a los recursos naturales, económicos, materiales y humanos, en beneficio del hombre y de la sociedad, constituyendo según esta definición, un puente entre la ciencia y la tecnología.

⁷ Acrónimo de *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (STEM), término utilizado para agrupar estas disciplinas académicas.

⁸ Término que refleja el número de defunciones por cada mil habitantes de una determinada comunidad, en un periodo de tiempo definido.

⁹ La TGF es el número de hijos que tiene una mujer en promedio. El escenario de fertilidad alta significa que la TGF se mantendrá 0,5 hijos por encima de la variante media; la variante de fertilidad baja establece que esta se mantendrá 0.5 hijos por debajo de la variante media; la variante de fertilidad constante, indica que la fertilidad estimada permanecerá constante y la fertilidad media señala que esta evolucionará según las tendencias estimadas para todos los países durante el periodo 1950-2100.

millones (Naciones Unidas, 2015a). En la figura 1 se muestra la proyección hasta el año 2100 de la población mundial en los diferentes escenarios de fecundidad.

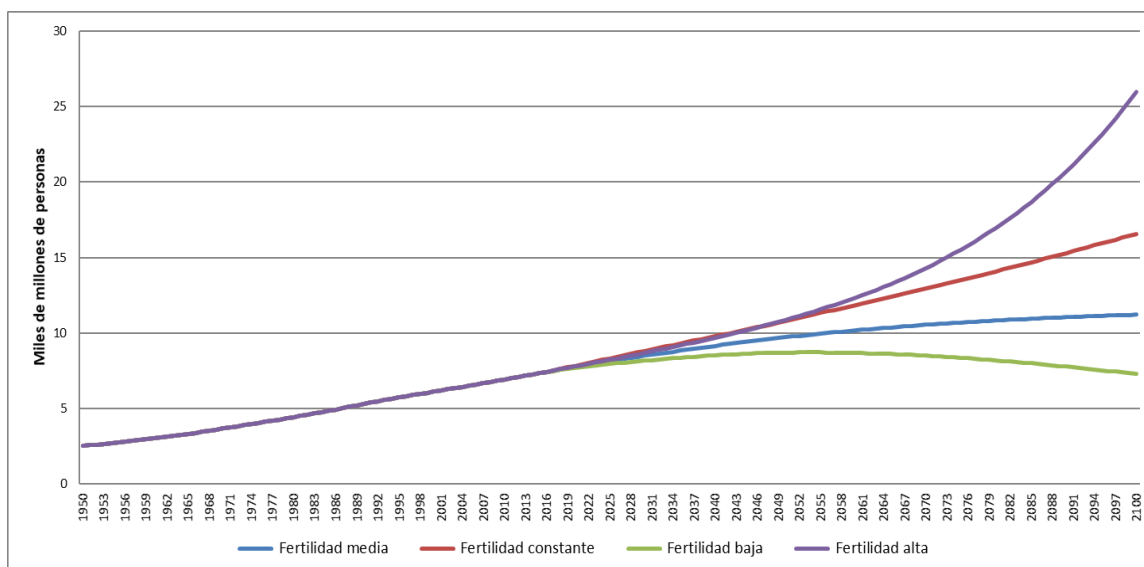


Figura 1: Población mundial y proyección al año 2100 en diferentes escenarios de fecundidad.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Naciones Unidas, 2015a.

El aporte al crecimiento de la población mundial no será homogéneo y dependerá del nivel de desarrollo de cada región. Los principales países de Asia: China e India, y los de África, aportarían, al año 2030, un 65% de este incremento, en tanto que las regiones desarrolladas, alrededor de 2,9 por ciento. Al año 2050, China, India y los países africanos representarían un poco menos del 70% de este crecimiento, en tanto que las regiones desarrolladas, alrededor de 1,8% (Naciones Unidas, 2015a).

Con ello, al año 2030 el 57,9% de la población mundial provendrá de Asia, 19,8% de África, 8,5% de América Latina y El Caribe, 8,6% de Europa, 4,7% de Norteamérica y 0,6% de Oceanía. Por otra parte, al año 2050, se estima que 54,2% de la población mundial procederá de Asia, 25,5% de África, 8,1% de América Latina y El Caribe, 7,3% de Europa, 4,5% de Norteamérica y 0,6% de Oceanía.

Si bien se espera un incremento en la población mundial, la tasa de crecimiento decaerá debido al descenso experimentado por la fecundidad. Se proyecta una disminución en la TGF desde 2,56 hijos por mujer en el periodo 2005-2010, a 2,24 niños para la etapa comprendida entre 2045 y 2050 (Naciones Unidas, 2015a).

La TGF dependerá del nivel de desarrollo de los países. En los más avanzados se estima que se encontrará cercana a 1,8 hijos por mujer para el año 2050, en tanto que en las regiones en vías de desarrollo se espera una TGF de 2,09 hijos por mujer. África Subsahariana será la única región que mantendría una TGF superior a tres hijos por mujer (Naciones Unidas, 2015a).

En la figura 2 se muestra la proyección de la tasa global de fecundidad para el período 2050-2055.

Total fertility, medium projection, 2050-2055

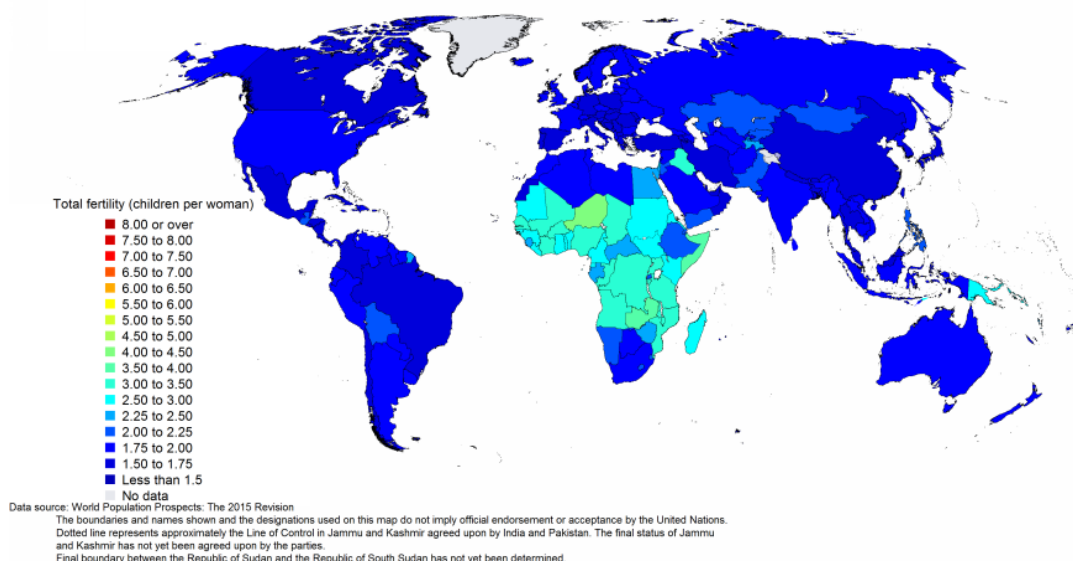


Figura 2: Proyección de la tasa global de fecundidad, 2050-2055 (niños por mujer)
 Fuente: Naciones Unidas, 2015a.

El cambio demográfico que se aprecia en el mundo también ocurre en Chile. La población estimada en nuestro país al año 2015 alcanzaba los 17,9 millones de personas, se estima que en el 2030 crecerá a 20,2 millones de personas y en el 2050 de 21,6 millones de habitantes.

2.1.2 Envejecimiento de la población

En paralelo a su crecimiento, la población envejece a una tasa que depende del nivel de desarrollo de las diferentes regiones. En las más desarrolladas, el envejecimiento se inició hace algunas décadas, mientras en las que se encuentran en vías de desarrollo este fenómeno aún no se inicia (Naciones Unidas, 2015a).

En el año 1950 había alrededor de 202 millones de personas mayores de 60 años, equivalente al 8% de la población mundial. En 2015, este grupo etario superó los 900 millones alcanzando el 12,3% del universo total. Las proyecciones indican que el año 2030 este grupo representará el 16,5% de la población mundial (1.400 millones de personas). Al año 2050 se espera que este indicador se eleve al 21,5%; es decir, 2.091 millones de personas. Actualmente el 67% de las personas mayores de 60 años viven en países en vías de desarrollo, un porcentaje que se elevaría a 73% en 2030 y a 80% para el año 2050.

Otro aspecto relevante resulta el incremento progresivo de la población mayor de 80 años. En el año 2015, en los países menos desarrollados vivían 66 millones de personas mayores de 80 años, en comparación a los 59 millones de los países desarrollados. Se prevé que, al 2030, 116 millones de personas mayores de 80 años residirán en países en vías de desarrollo, mientras que 85 millones en países desarrollados. Para el 2050, estas cifras aumentarán a 127 y 306 millones de personas mayores de 80 años respectivamente (Naciones Unidas, 2015a). En la figura 3 se muestra la distribución etaria de la población mundial y su proyección al 2050.

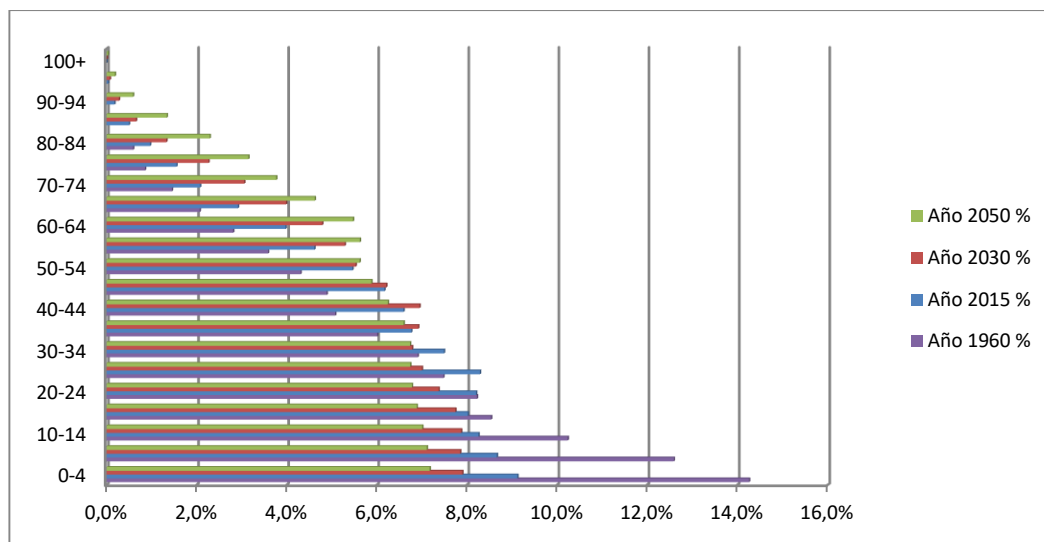


Figura 3: Distribución etaria de la población mundial y proyección al 2050.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Naciones Unidas, 2015a.

Este envejecimiento traerá consigo un incremento de la edad media de la población. En el año 1960, la edad media mundial fue 27 años, en 2015 se elevó a 32 años. Se espera que al 2030 llegue a 35 años y en 2050 a 38 años.

El incremento en la edad media de la población variará dependiendo de la región. En los lugares en vías de desarrollo aumentará de 30,5 años en 2015, a 33,5 años en 2030 y a 37 años en 2050. En las regiones más desarrolladas se incrementó de 32 años en 1960, a 41 años en el 2015, y existe una proyección cercana a los 43,6 años para el 2030 y a los 45 años al 2050 (Naciones Unidas, 2015a).

En concordancia con la tendencia mundial, la población de Chile ya inició su proceso de envejecimiento. En la figura 4 se muestra la distribución etaria de la población de Chile y su proyección al 2050. En el 1960, sólo el 4,9% de la población (379 mil personas) superaba los 65 años, en 2015 se elevó al 11,0% (1,9 millones). Las proyecciones sugieren que, para 2030, este grupo de edad representará el 17,6% de la población chilena (3,5 millones) y 26,2% (5,6 millones de personas) al 2050.

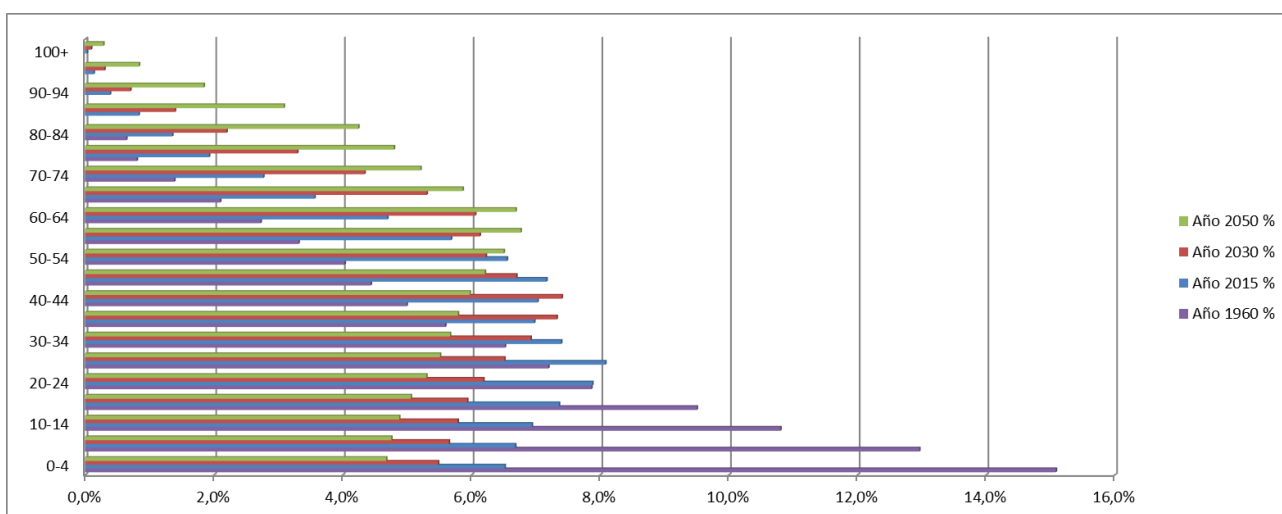


Figura 4: Distribución etaria de la población de Chile y proyección al 2050.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Naciones Unidas, 2015a.

En relación con el incremento progresivo de la población mayor de 80 años. En el año 2015, este grupo etario representaba el 2,7% de la población (492 mil personas). Se prevé que el 2030 este porcentaje alcanzará al 4,7% (950 mil) y al 2050 se elevaría al 10,3% de la población (2,2 millones de habitantes) (Naciones Unidas, 2015a).

2.1.3 Aumento de las migraciones

En los últimos 25 años se ha observado un aumento importante en el número de migrantes, se estima que actualmente existen en el mundo 244 millones de migrantes internacionales. Si bien, este indicador es aún bajo en relación con la población mundial, creció desde 2,9%, en el año 1990 hasta 3,3%, en 2015.

Los principales factores que incentivan los procesos migratorios son: cambio climático, escasez de recursos y persecuciones raciales, étnicas, religiosas, políticas o sociales. Estas causas seguirán en aumento¹⁰.

El número de migrantes en las regiones desarrolladas aumentó, desde 1990, en alrededor de 58 millones (70%), en tanto que la población de migrantes en regiones en desarrollo creció en torno a 33 millones (47%).

En la última década, desde 2005 en adelante, el crecimiento de la población migrante en las regiones en desarrollo ha sido más rápido que el crecimiento en las desarrolladas. Entre 2010 y 2015, la tasa media de crecimiento anual de la población migrante en las regiones en desarrollo fue del 3,2% anual en tanto que, en las desarrolladas alcanzó 1,2 por ciento. Los lugares con la mayor cantidad de migrantes son Europa con 76,1 millones, seguido de Asia con 75,1 millones y América del Norte con 54,5 millones.

En la figura 5 se muestra la evolución de la población de migrantes internacionales por región, desde 1990 a la fecha.

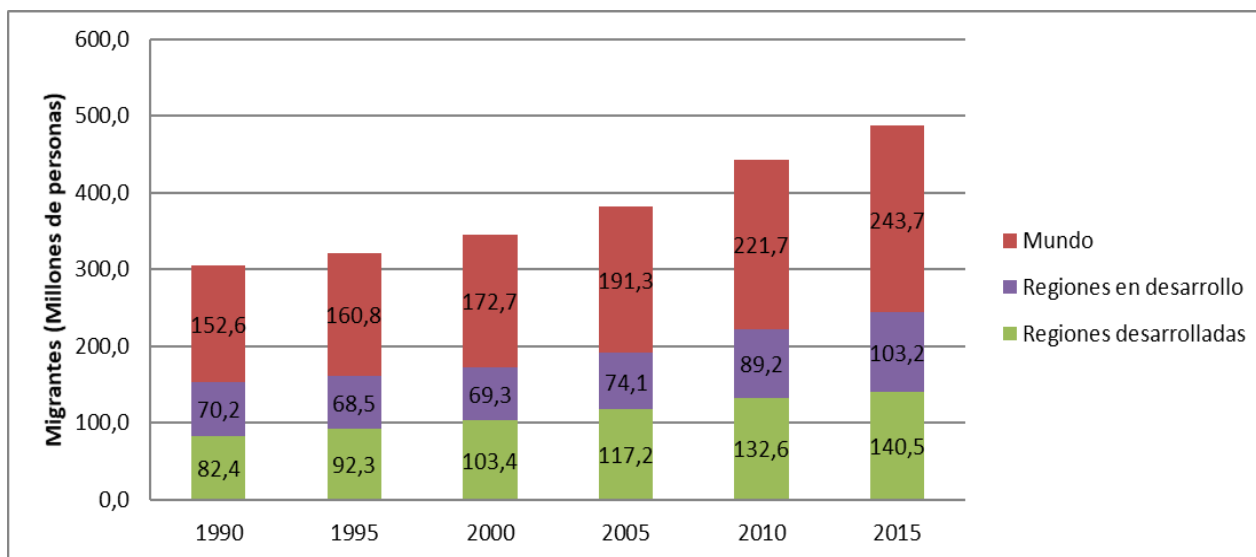


Figura 5: Cantidad de migrantes en regiones desarrolladas y en desarrollo.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Naciones Unidas (2015b).

2.2 Desplazamiento del poder económico global

El foco del poder económico mundial se ha desplazado desde los países desarrollados hacia las naciones en desarrollo. Debido a la expansión de su clase media, pasan de ser centros de producción a polos de

¹⁰ Según el Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados (ACNUR), a finales del 2011, 43,3 millones de personas en todo el mundo fueron desplazadas de sus territorios debido a diferentes conflictos. A finales del 2014 esta cifra aumentó a 60 millones de personas.

consumo. Este escenario plantea la necesidad de analizar el futuro del comercio mundial, los patrones de consumo y la disponibilidad de recursos junto con la capacidad del planeta para soportar este aumento.

2.2.1 Foco de crecimiento mundial

En 2009, el PIB de los países pertenecientes al G7¹¹, fue de 29 billones de dólares, superior al de los países del E7¹² que arrojó 20,9 billones de dólares. Se espera que, en el 2050 el PIB de los países del E7, sea casi el doble del G7: 138,2 contra 69,3 billones de dólares.

2.2.2 Expansión de las clases medias

A nivel global se espera un incremento, a mediano plazo, de las clases medias¹³, pasando de 1.845 millones de personas en 2009, a 3.249 millones en 2010 y a 4.884 millones en 2030. El 85% de este crecimiento provendrá de Asia (Kharas, Homi 2010).

Actualmente, Europa y Norteamérica en conjunto concentran la mayor población de clase media con 36% y 18%, respectivamente, en tanto que las regiones de Asia y el Pacífico poseen cerca del 28 por ciento. Para 2020, se espera que esta región alcance un 54% de población de clase media, superando a Europa y Norteamérica y para el 2030 se estima que será del 66% de la clase media (Kharas, Homi, 2010).

En la tabla 1 se muestra el número y porcentaje de la clase media mundial por región desde el año 2009 a la fecha y su evolución hacia el 2030.

Región	2009		2010		2030	
	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje
América del Norte	338	18%	333	10%	322	7%
Europa	664	36%	703	22%	680	14%
Centroamérica y América del Sur	181	10%	251	8%	313	6%
Asia y el Pacífico	525	28%	1.740	54%	3.228	66%
África Subsahariana	32	2%	57	2%	107	2%
Oriente Medio y Norte de África	105	6%	165	5%	234	5%
Mundo	1.845	100%	3.249	100%	4.884	100%

Tabla 1: Número y porcentaje de la clase media mundial por región (millones de personas).

Fuente: Karas, Homi, 2010

El incremento de las clases medias del Asia Pacífico impulsaría una serie de cambios sociales y económicos como una reorganización de las cadenas de valor globales y del comercio mundial. Además, surgirán diferentes oportunidades que se materializarán al comprender la naturaleza de las demandas de este grupo.

2.2.3 Consumo de las clases medias

Actualmente, el 64% del gasto total de la clase media mundial se concentra en América del Norte y Europa. Se estima que hacia el 2030 este escenario cambiará y el mayor consumo provendrá de Asia y el Pacífico, representando esta zona el 59% de la demanda en tanto que Europa tendrá el 20% y América del norte el 10% (Kharas, Homi, 2010).

¹¹ Se denomina grupo de los siete (o G7) a un grupo de países del mundo que tienen un peso político, económico y militar relevante a escala global. Este está conformado por Alemania, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Japón y Reino Unido. Este grupo de países representa más del 64 % de la riqueza global.

¹² El grupo E7 corresponde a los siete países: China, India, Brasil, México, Rusia, Indonesia y Turquía que son las principales economías emergentes.

¹³ Según la OCDE, la clase media corresponde a aquellos segmentos que tienen ingresos diarios comprendidos entre diez y cien dólares.

En la tabla 2 se muestra el gasto y porcentaje de la clase media mundial por región, desde el año 2009 a la fecha y su evolución esperada al 2030.

Región	2009		2010		2030	
	Gasto	Porcentaje	Gasto	Porcentaje	Gasto	Porcentaje
América del Norte	5.602	26%	5.863	17%	5.837	10%
Europa	8.138	38%	10.301	29%	11.337	20%
Centroamérica y América del Sur	1.534	7%	2.315	7%	3.117	6%
Asia y el Pacífico	4.952	23%	14.798	42%	32.596	59%
África Subsahariana	256	1%	448	1%	827	1%
Oriente Medio y Norte de África	796	4%	1.321	4%	1.966	4%
Mundo	21.278	100%	35.046	100%	55.680	100%

Tabla 2: Gasto de la clase media mundial por región (millones de US\$).

Fuente: Karas, Homi 2010.

2.3 Urbanización y expansión de las ciudades

Las ciudades presentan importantes oportunidades de mejorar la calidad de vida y el bienestar económico y social de las personas. Por ello, se observa una tendencia creciente a migrar a las grandes urbes, que tienden a expandirse trayendo como consecuencia un desarrollo no planificado que impide a las personas aprovechar los beneficios de la urbanización. En los últimos 60 años, se observa un importante incremento de la población mundial residente en regiones y el crecimiento de ciudades, especialmente en países no desarrollados.

2.3.1 Creciente urbanización

El mundo está experimentando un importante proceso de urbanización. Actualmente, el 54% de la población mundial (3.957 millones) reside en zonas urbanas, se espera que el 2030 esta cifra alcance el 60% (5.058 millones) y el 2050 un 66,4% (6.338 millones) (Naciones Unidas, 2014).

El análisis de las proyecciones sobre el crecimiento mundial indica que África y Asia serán las regiones que se urbanizarán con mayor rapidez. Se espera que para el 2050, el 56% de la población africana y el 64% de la asiática residan en ciudades (Naciones Unidas, 2014).

América Latina presenta una situación especial porque en la actualidad presenta índices de urbanización cercanos al 80%, tan elevado como los países desarrollados. Se espera que estos se incrementen aún más. A pesar de este escenario, la región no logró resolver el acceso a los servicios básicos de la población en las zonas periféricas a las ciudades, ni tampoco solucionar los problemas de ordenamiento territorial.

En la figura 6 se muestra el porcentaje de la población que residiría en áreas urbanas en 2050.

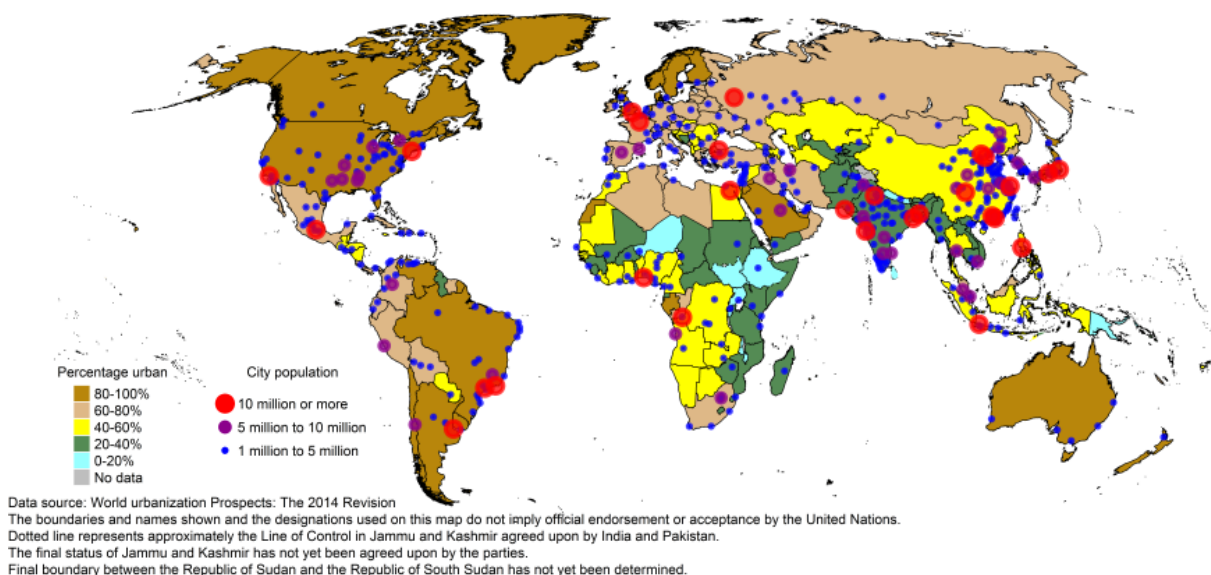


Figura 6: Población que residirá en áreas urbanas al año 2050
 Fuente: Naciones Unidas, 2014.

En el caso de Chile y el proceso de urbanización, en 2015 el 89,5% de la población vivía en áreas urbanas. Se espera que esta tendencia continúe para llegar el 2030 a un 91,4% y el 2050 al 93,1% (Naciones Unidas, 2014).

2.3.2 Expansión de las ciudades

Actualmente el 56,7% de la población urbana del mundo vive en ciudades de más de 300 mil habitantes. En 2015, el 12% de la población urbana del mundo (471 millones de personas) residía en las 29 ciudades que albergaban a más de 10 millones de habitantes.

En la figura 7 se muestra el número de megaciudades proyectadas al 2050 y su tasa de crecimiento.

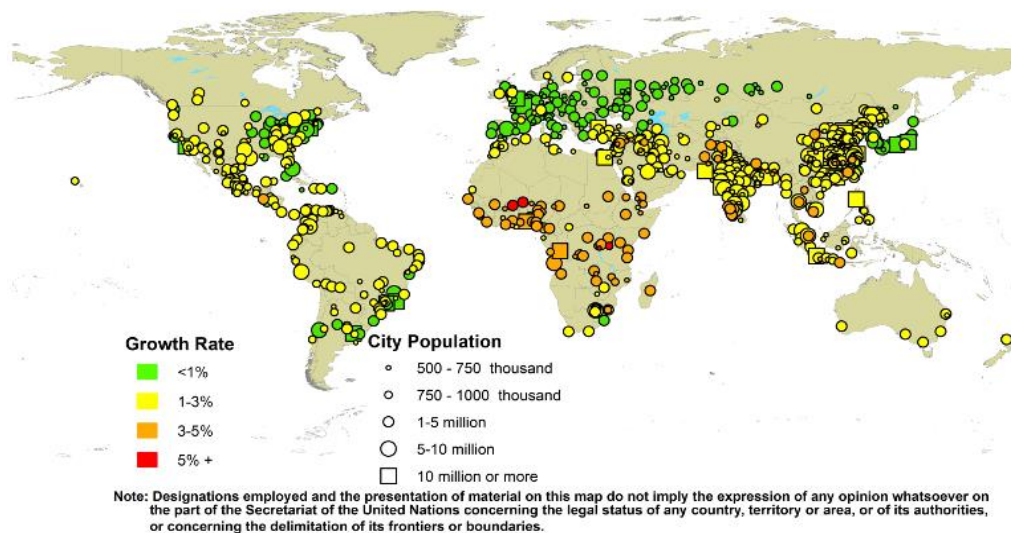


Figura 7: Número de megaciudades y tasa de crecimiento al 2050
 Referencia: Naciones Unidas, 2014

Entre las principales megaciudades actuales destacan: Tokio con 38 millones de habitantes, Delhi con 25 millones; Shanghái con 23,7 millones, Sao Paulo, Bombay y Ciudad de México cada una con alrededor de 21 millones de personas.

Para el año 2030 se espera contar con 41 megaciudades que alberguen a 729 millones de personas, equivalentes al 14,4% de la población urbana mundial (Naciones Unidas, 2014).

2.4 Escasez de recursos

El mundo enfrenta, debido al incremento de la población y los nuevos patrones de consumo de la clase media en expansión, serios riesgos de seguridad en el suministro de recursos, situación que se agravaría con el efecto del cambio climático. Esta situación genera incertidumbre sobre el futuro de los recursos y el acceso a ellos.

2.4.1 Disponibilidad de tierra

El mundo experimenta, por las razones indicadas, un crecimiento importante de la población. A ello se suma el aumento en el consumo de bienes y servicios por parte de las clases medias de países emergentes y una mayor demanda por productos agrícolas orientados a la elaboración de biocombustibles. La FAO señaló su preocupación ante la posible incapacidad de la agricultura global para proveer los alimentos que requerirá la humanidad.

El incremento en la demanda de alimentos generará una mayor presión sobre las tierras cultivables y elevará la demanda de agua para las actividades agrícolas. Esto generaría a futuro problemas en la distribución de los recursos hídricos para consumo humano, las necesidades de la industria y la agricultura.

En la figura 8 se muestra la evolución de la superficie arable en los países desarrollados y en desarrollo y su proyección al 2050.

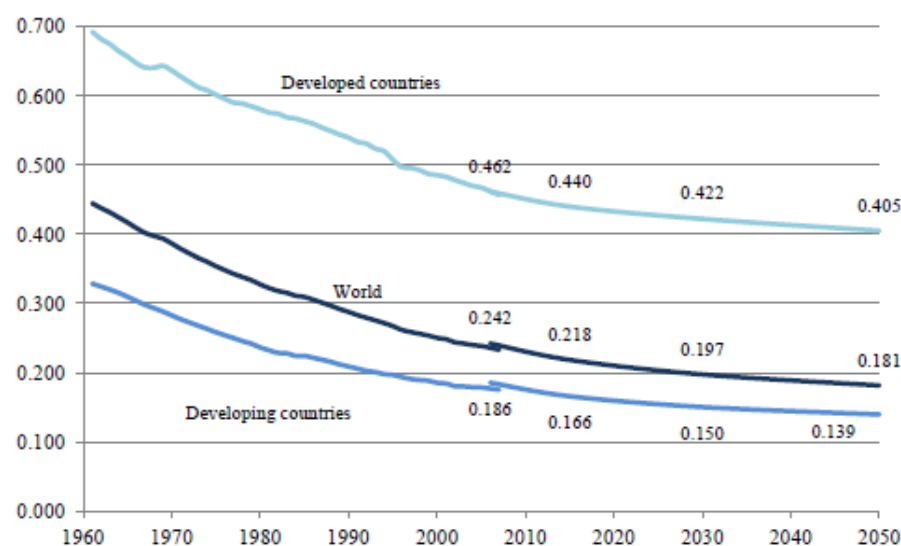


Figura 8: Proyección de superficie arable al año 2050 (hectáreas en uso por persona).
Países desarrollados, mundo y países en desarrollo
Fuente: Alexandratos, Nikos and Bruinsma Jelle, 2012.

2.4.2 Disponibilidad de agua

El agua constituye uno de los recursos naturales de mayor demanda en el futuro porque al incremento de la población mundial y los mayores requerimientos para consumo humano y agricultura, se sumarán las necesidades para desarrollar actividades industriales y para generación de energía.

Se estima que en 2030 los mayores requerimientos de agua se relacionarán con la agricultura e industria y con el acceso a servicios básicos de agua potable y alcantarillado para la población que se traslade a las áreas urbanas.

En la figura 9 se muestra la demanda mundial de agua por cada sector y su proyección al 2050.

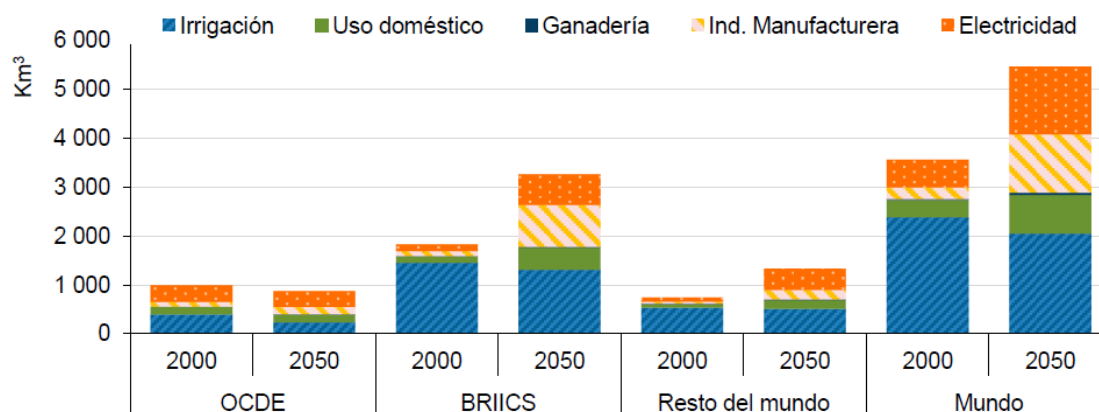


Figura 9: Demanda mundial de agua: escenario de referencia, 2000 y 2050.
Referencia: OCDE, 2012.

Se estima que, en 2050, la demanda global de agua se incrementará en 55%, el requerimiento para desarrollar actividades manufactureras se incrementaría en 400%, para el consumo humano en 130%, y para la generación de electricidad en 140% (OCDE, 2012).

2.4.3 Suministro de energía

La energía se vislumbra a futuro como un recurso que, si bien no será escaso debido a nuevos yacimientos de petróleo y gas natural, resultará cada vez más difícil de obtener. Se espera que el consumo mundial de energía se incremente en un 56%, durante el período 2010-2040. Gran parte de este aumento se producirá en los países en desarrollo: China, India y Rusia, los que incrementarían su demanda de energía hasta en un 90%, para satisfacer a sus industrias y población.

A pesar de la disminución en los costos de inversión de las energías renovables no convencionales, se espera que el 2030 una parte importante de la energía global siga proviniendo de fuentes de energía no renovables como el carbón, gas natural y petróleo.

Los países en desarrollo representarán cerca del 65% de la demanda global de energía. China e India aumentarían su uso de este recurso en 112% durante el período 2010-2040, Medio Oriente en 76%, África en 85% y Latinoamérica en 62% (EIA, 2017)

2.5 Cambio climático

El mundo experimenta actualmente un proceso de cambio climático que impacta a los países en diferentes áreas tales como: pobreza, desarrollo económico, crecimiento de la población y gestión de recursos. Esta situación se ve agravada por el uso intensivo de recursos naturales y de combustibles fósiles como principal medio para generar energía eléctrica. Se espera que esta tendencia continúe en el corto y

mediano plazo. Al cambio climático contribuye el uso intensivo de hidrocarburos como principal combustible para el mercado automotriz y para la generación de energía eléctrica.

2.5.1 Calentamiento global

El aumento de la temperatura media global genera consecuencias directas sobre el medio ambiente como el derretimiento de los hielos y el crecimiento del nivel medio del mar. En la figura 10 se muestra la emisión de CO₂ por fuente y grupo de países y su proyección al 2050.

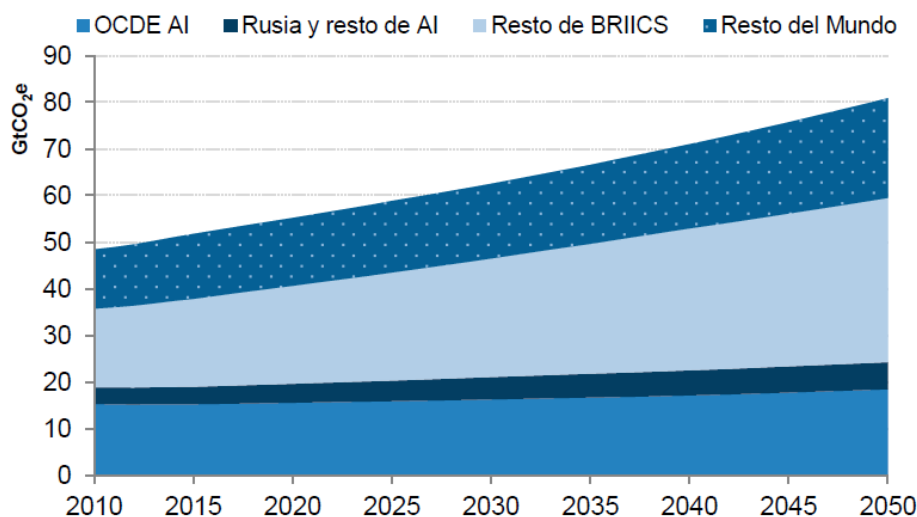


Figura 10: Emisiones globales de CO₂ por fuente y proyección al año 2050
Fuente: OCDE, 2012

El incremento de las emisiones de CO₂ desencadenaría además diversos impactos en el ecosistema que superarían la capacidad de adaptación de los sistemas naturales y sociales con significativos costos ambientales, sociales y económicos.

Se espera que el proceso de calentamiento global continúe, a pesar de que numerosos países realizan acciones orientadas a prevenir esta situación, debido principalmente a que los grandes emisores de gases efecto invernadero no prestaron la atención suficiente a los problemas del calentamiento global como la pérdida de biodiversidad, escasez de agua e impactos sobre la salud.

2.5.2 Pérdida de biodiversidad

Se estima que en los próximos años continuará la pérdida de biodiversidad terrestre¹⁴, especialmente en Asia, Europa y Sudáfrica, disminuyendo un 10% adicional hacia el 2050 (OCDE, 2012).

En la figura 11 se muestra el efecto de los diferentes factores de presión sobre la AME, por grupo de países y su proyección al 2050.

¹⁴ Esta se mide como la abundancia media de especies, AME, que es un indicador que permite calcular cuán intacto está un ecosistema natural.

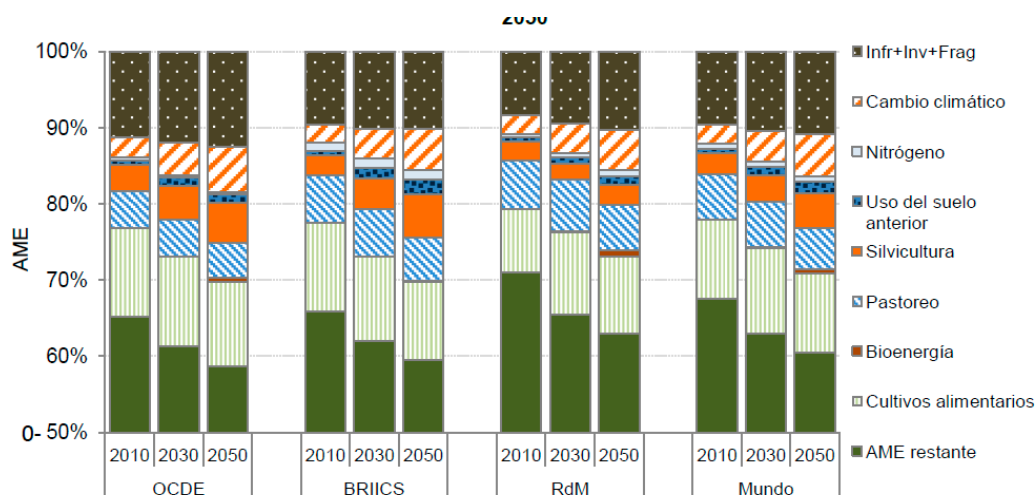


Figura 11: Efectos de los diferentes factores sobre la Abundancia Media de Especies (AME)
Fuente: OCDE, 2012

2.6 Transformación digital

El mundo atraviesa una época de gran cambio tecnológico que se debe en gran medida al rápido desarrollo de las TIC, que ocurrió gracias a la convergencia de tres tecnologías: digitalización¹⁵, informática¹⁶ y telecomunicaciones¹⁷. Actualmente, existen otras tecnologías emergentes, tales como nanotecnología, biotecnología, ciencia cognitiva y tecnologías de información que poseen el potencial, al converger, de impulsar innovaciones en áreas como medicina, telecomunicaciones, industria manufacturera, energía, producción de alimentos o protección del medioambiente, entre otras.

El cambio tecnológico, además, se acelera. Cada vez resulta menor el tiempo que transcurre entre el desarrollo de una nueva tecnología y su adopción por los consumidores. A modo de ejemplo, en la figura 12, se muestra el período transcurrido entre los grandes inventos que cambiaron la vida de las personas en el siglo XX y XXI y el tiempo que tomó su adopción por el 25% de los consumidores de Estados Unidos.

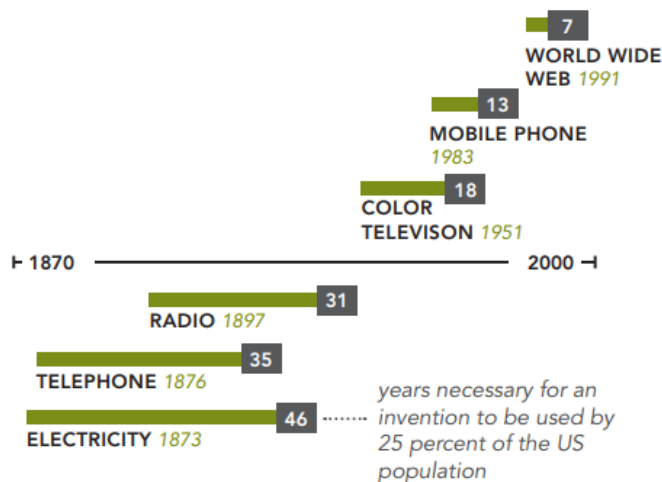


Figura 12: Tiempo de ingreso al mercado de nuevas tecnologías en Estados Unidos.
Fuente: NIC, 2012.

¹⁵ La digitalización convierte datos, como textos, imágenes, películas y sonidos, en bits, que se almacenan, procesan y distribuyen.

¹⁶ La informática manipula y procesa grandes volúmenes de datos, a gran velocidad.

¹⁷ Las telecomunicaciones transmiten los datos por diferentes medios, a gran velocidad, desde un extremo a otro del planeta.

2.6.1 Tecnologías relevantes para el desarrollo

Existen actualmente cuatro áreas de desarrollo de la tecnología que serían relevantes hacia el año 2030: las tecnologías de la información y comunicaciones (TIC), las tecnologías de automatización y manufactura, las tecnologías de recursos y las tecnologías de la salud.

Tecnologías de la información y comunicaciones

En los próximos 15 a 20 años, el hardware, software y la conectividad de las tecnologías de la información y comunicaciones, experimentarán un crecimiento masivo, tanto en su capacidad, como en su complejidad. En un estudio reciente realizado por Gartner (Gartner 2017) se señalan las principales tendencias tecnológicas, que están acercando el mundo físico al mundo digital: Uso de Inteligencia Artificial (IA) en aplicaciones para teléfonos móviles, análisis de grandes volúmenes de información en dispositivos de uso doméstico, representación digital de sistemas del mundo real y uso de plataformas digitales para sostener conversaciones en diferentes idiomas. A esto se suma la aplicación de sistemas inmersivos de realidad aumentada o de realidad virtual para el aprendizaje y uso de redes para interactuar con otros en transacciones financieras y comerciales, con los resguardos de seguridad de las nuevas tecnologías de encriptación.

Las tecnologías de información se incorporarán a las ciudades formándose *smart cities* o ciudades inteligentes, para maximizar la productividad económica y la calidad de vida de los ciudadanos y, de este modo, reducir al mínimo el consumo de recursos y la degradación del medio ambiente.

Tecnologías de automatización y manufactura

En las últimas dos décadas, la tendencia global de las empresas manufactureras consistió en utilizar a los países asiáticos como plantas productoras y desarrollar cadenas de abastecimiento entre los fabricantes, los proveedores y las empresas de logística. La impresión 3D, la robótica, el internet de las cosas y el aprendizaje automático (*machine learning*), cambiarán estos patrones de trabajo, tanto en los países desarrollados como en vías de desarrollo.

La impresión 3D utiliza una cantidad menor de material, genera menos desperdicios y crea objetos difíciles de producir con las técnicas tradicionales. Además, reduce las necesidades de mano de obra y las cadenas de suministro.

La robótica se emplea en la industria hace más de cinco décadas y transformó completamente los entornos de fabricación. Actualmente existen más de 1,2 millones de robots industriales en funcionamiento en todo el mundo. Los desarrolladores de esta tecnología están ampliando sus capacidades para mejorar sus aspectos cognitivos. La robótica eliminaría, al año 2030, la necesidad de mano de obra en algunos sectores productivos.

La Internet de las cosas posee el potencial de mejorar la vida de las personas mediante el uso de sensores y transmisores dispuestos en máquinas y en otros objetos de uso masivo y conectados a la Internet, permitiendo la comunicación entre ellos.

El aprendizaje automático, en particular el llamado aprendizaje profundo basado en redes neuronales de múltiples capas facilita la realización de tareas antes imposibles para las máquinas como reconocimiento de imágenes, vehículos autónomos y centros de llamadas, entre otros. En general, estas tareas pueden o no contar con intervención humana, algo que genera dilemas éticos en las áreas de la salud o finanzas, entre otras, además de afectar la privacidad en el caso de perfilamiento de usuarios.

Tecnologías de recursos

La creciente demanda por recursos debido al incremento de la población mundial y al surgimiento de una clase media con mayor poder adquisitivo, requerirá procesos más eficientes para generar y distribuir agua, energía y alimentos. Además, se desarrollarán nuevas tecnologías para su obtención tales como: diseñar sistemas de irrigación más eficientes para los cultivos, modificar genéticamente alimentos para disminuir los requerimientos de agua, mejorar las tecnologías de desalinización y desarrollar fuentes alternativas de energía y biocombustibles.

Tecnologías de salud

La aplicación de las nuevas tecnologías a la salud transforma la calidad de vida de las personas, disminuyendo la mortalidad y aumentando su esperanza de vida. Además de los equipamientos médicos que realizan mejores diagnósticos: tomografía, ultrasonido y equipos que facilitan la labor del cirujano, existen tecnologías que fabrican implantes y prótesis inteligentes y previenen enfermedades cardiovasculares. Se espera que, en los países en desarrollo, en los que existe un crecimiento importante de la clase media, aumente la longevidad de las personas.

2.6.2 Masificación del acceso al conocimiento

El acelerado desarrollo de las TIC y la disminución en sus costos facilita el acceso a Internet de un número cada vez mayor de personas. En 2011, el 28% de la población mundial accedía a Internet y los países desarrollados representaban el 60% de todos los usuarios. Esta tendencia cambió y actualmente el 42% de los usuarios de Internet se ubican en los países en desarrollo. Se estima que para el 2030, el 99% de la población mundial tendrá acceso a Internet. ESPAS (2012).

La democratización del acceso a Internet transforma la manera en la que las personas acceden al conocimiento. Este ya no se encuentra concentrado en manos de unos pocos, se encuentra a disposición de todos los ciudadanos alrededor del mundo, planteando con ello un nuevo paradigma respecto al rol de los actores tradicionales de conocimiento tales como universidades y medios de comunicación.

Las personas hoy se comunican instantáneamente con otras, ubicadas en cualquier lugar del mundo y comparten información, generan noticias y entregan opiniones sobre diferentes acontecimientos. Los canales de comunicación cambiaron y cada día existen más personas conectadas a Internet, a través de diferentes dispositivos. En un estudio realizado por Statista, se estima que para el 2025 existirán 75,44 miles de millones de dispositivos conectados¹⁸ en todo el mundo. En tanto, otro trabajo elaborado por IHS¹⁹, se proyecta que para el 2030, el número de dispositivos conectados a Internet alcanzará los 125 mil millones. Esto equivale, considerando una población de 8.500 millones de personas²⁰ para esa fecha, 14,7 dispositivos por habitante.

2.6.3 Efecto de las nuevas tecnologías en el empleo

En la última década se ha producido, a raíz de la transformación digital, un cambio significativo en la estructura del empleo. Actualmente, se automatizan no sólo las funciones repetitivas, además las labores con mayor énfasis social o cognitivo. Se espera que los cambios tecnológicos que transforman las industrias impacten profundamente en el empleo en los próximos años, creando nuevos puestos, con requerimientos de personal más calificado, desplazando las posiciones de trabajo actuales.

¹⁸<https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/>

¹⁹<https://technology.ihs.com/596542/number-of-connected-iot-devices-will-surge-to-125-billion-by-2030-ihs-markit-says>

²⁰ En un escenario de fertilidad media, según se indica en el capítulo 2.

En numerosas industrias y países, las labores más demandadas hoy, no existían hace 10 años. Se estima además que, el 65% de los niños que ingresan hoy a la enseñanza básica, trabajarán en empleos completamente nuevos.

En un estudio realizado por el *World Economic Forum*²¹, se señala que comienza una nueva revolución industrial. Los grandes desarrollos en inteligencia artificial, aprendizaje de máquinas, robótica, nanotecnología, impresión 3D, genética y biotecnología generan cambios importantes en el empleo. Estas tendencias tecnológicas, según se indican en el mismo estudio, en el período 2015 – 2020, generarían una pérdida de 7,1 millones de empleos, de los cuales dos tercios se concentran en funciones administrativas y de oficina. A su vez, se produciría una ganancia de 2 millones de empleos, en campos relacionados con informática, matemáticas, arquitectura e ingeniería, provocando un impacto neto de más de 5,1 millones de empleos perdidos por los cambios tecnológicos. Por ello, resulta imperativo desarrollar la capacidad de prepararse para las necesidades futuras, con el objeto de aprovechar sus oportunidades.

²¹ World Economic Forum (2016). The Future of Jobs. Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution.

3. DESAFÍOS Y TENDENCIAS DE LA INGENIERÍA Y LA TECNOLOGÍA

A lo largo de la historia de la humanidad, la ciencia, tecnología e ingeniería (STEM) impulsaron el avance de la civilización, desde el desarrollo de la metalurgia que terminó con la edad de piedra, hasta la construcción de barcos que unieron a los diferentes pueblos, a través de los viajes y el comercio. En la medida en que la especie humana se desarrolló, se diseñaron y construyeron nuevas herramientas, se crearon tecnologías, cada vez más sofisticadas que reemplazaron el trabajo efectuado por las personas por máquinas y se elaboraron sistemas que contribuyeron a mejorar la calidad de vida de la humanidad.

En el siglo XX, la ingeniería alcanzó importantes logros y contribuyó a mejorar prácticamente todos los aspectos de la vida humana, como el desarrollo de sistemas de generación y distribución de energía eléctrica, la producción y distribución de agua potable, fabricación de automóviles, aviones, radios, televisores, naves espaciales, antibióticos, imágenes médicas, computadoras e Internet, entre otros.

El siglo XXI plantea otros desafíos, tan relevantes como los del siglo pasado, ya que a medida que la población crece y aumentan sus necesidades, se presentan nuevos retos que la ingeniería tendrá que resolver.

En este capítulo se abordan los principales desafíos y tendencias de la ingeniería y la tecnología para el siglo XXI, identificados por Naciones Unidas, la *National Academy of Engineering* de Estados Unidos (NAE), el *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) y el Instituto de Ingenieros de Chile.

3.1 ONU, objetivos de desarrollo

En el 2000, Naciones Unidas estableció los Objetivos de Desarrollo del Milenio, conocidos también como Objetivos del Milenio (ODM). **Los ODM representan ocho propósitos de desarrollo humano, que abordan graves problemas de la vida cotidiana**, que los 189 países miembros de Naciones Unidas acordaron conseguir para el 2015. Estos, se muestran en la figura 13 y **en todos ellos, la ingeniería y los ingenieros cumplen un rol relevante**.



Figura 13: Objetivos del milenio (ODM)
Fuente: Naciones Unidas

En el año 2015, Naciones Unidas evaluó el progreso alcanzado en el cumplimiento de estos objetivos y decidió extenderlos a diecisiete, llamados actualmente **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)** y que

se muestran en la figura 14. En el Anexo N° 1 se explican con mayor detalle. **En la mayor parte de ellos, la ingeniería asume un rol protagónico.**



Figura 14: Objetivos de desarrollo sostenible (ODS).
Fuente: Naciones Unidas.

3.2 Ingeniería, grandes desafíos

El siglo XXI, como se indicó anteriormente, presenta nuevos desafíos debido al aumento de la población, sus necesidades y el surgimiento de nuevas tecnologías que impactarán cada vez más en las personas y en la sociedad.

En los próximos cambios se percibe una frontera cada vez más difusa entre ciencia y tecnología. A modo de ejemplo, la investigación científica en el ámbito de la nanotecnología ha permitido desarrollar nuevas tecnologías para la fabricación de baterías, en base a nanopartículas de óxido de silicio SiO_2 . Esto reducirá entre 30% y 50% el costo de fabricación de las baterías y duplicar la autonomía de los autos eléctricos, acelerando el reemplazo de los vehículos de combustión interna. Así impacta en toda la cadena de valor de la industria del automóvil y de la industria del petróleo, generando cambios en el mercado laboral, como sucedió cuando se inventó el automóvil y los cocheros y cuidadores de caballos se quedaron sin trabajo.

La NAE definió catorce grandes desafíos para el siglo XXI, agrupados en cuatro ámbitos de la preocupación de la humanidad por el futuro: sustentabilidad, salud, vulnerabilidad, mejoramiento en la calidad de vida de las personas y tecnologías de información y comunicaciones (TIC). Estos se muestran en la figura 15 y se explican a continuación.

GRAND CHALLENGES FOR ENGINEERING

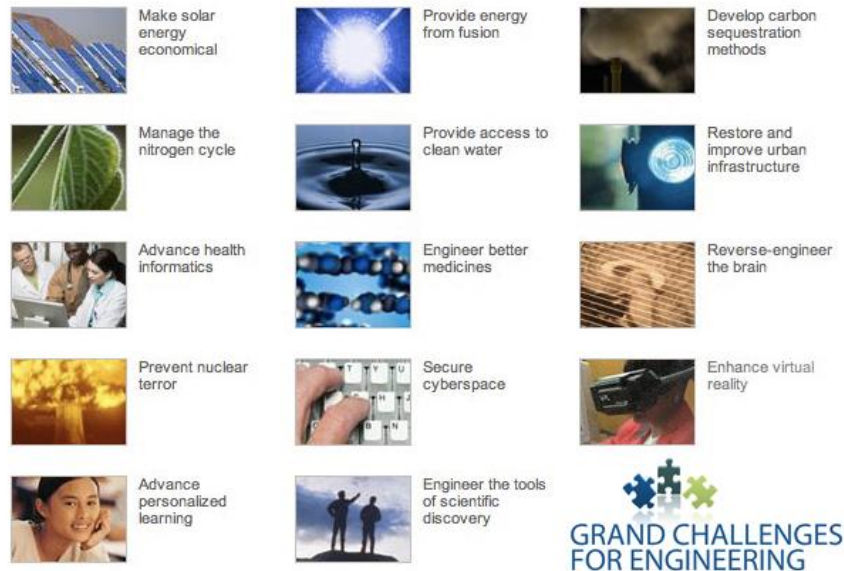


Figura 15: Grandes desafíos para la ingeniería²².
Fuente: National Academy of Engineering (NAE).

3.2.1 Sustentabilidad

La sustentabilidad del planeta consiste en asegurar que satisfaga nuestras necesidades actuales, sin mermar las posibilidades de las futuras generaciones. Entre los principales desafíos declarados por la NAE se encuentran: **desarrollar nuevas fuentes de energía amigables con el medioambiente y revertir la degradación que sufrió el planeta**, como se explica a continuación.

Conseguir que la energía solar sea económicamente accesible

En la actualidad, la energía solar proporciona menos del 1% del total del mundo, fracción muy pequeña en comparación con el 85% que proviene de los combustibles fósiles: petróleo, gas y carbón, que contribuyen de manera importante a la acumulación de dióxido de carbono en la atmósfera, incremento de la temperatura de la tierra y cambio climático. La energía solar, una fuente de energía sostenible, representa una alternativa atractiva. Su disponibilidad resulta mayor que la demanda futura de energía y además es ambientalmente limpia y económicamente viable.

El uso del sol como fuente principal de energía, requerirá desarrollos de ingeniería en diferentes áreas para capturar su energía, convertirla en una forma útil de energía de manera eficiente y almacenarla cuando no exista radiación.

Generar energía de fusión

La fusión constituye la fuente de energía que emana el sol. Los reactores terrestres no obtienen presiones tan altas como las que existen en el interior del sol, pero alcanzan temperaturas aún más altas que las del sol, compensando de esta manera la menor presión, mediante la fusión de deuterio y tritio, componentes que se obtienen a partir de agua y litio, elementos muy abundantes en la naturaleza.

²² <http://engineeringchallenges.org/>

La fusión a menor escala ya ha sido demostrada. El desafío para los ingenieros consiste en encontrar la forma de escalar este proceso a un tamaño comercial, de una manera eficiente, económica y respetuosa con el medio ambiente.

Desarrollar métodos para capturar el carbono

En la época preindustrial, cada millón de moléculas de aire contenía alrededor de 280 moléculas de dióxido de carbono. Actualmente, esa proporción excede las 380 moléculas por millón y sigue incrementando la temperatura media global del planeta, con las consecuencias conocidas en el cambio climático. Si los niveles de dióxido de carbono continúan creciendo, el calentamiento global tendría graves consecuencias para la humanidad, como el aumento del nivel del mar, sequías, inundaciones y fenómenos naturales cada vez más intensos.

La solución a este problema no es simple, porque hoy los combustibles fósiles representan los principales generadores de dióxido de carbono y proporcionan alrededor del 85 % de la energía del mundo. Aun cuando se reemplacen estas fuentes tradicionales de energía por las renovables, el uso de combustibles fósiles seguirá siendo importante por varios años.

Esta situación también constituye un gran desafío para los ingenieros del siglo XXI, quienes deberán ser capaces de desarrollar sistemas para capturar y almacenar en forma segura el dióxido de carbono producido por la combustión de hidrocarburos.

Gestionar el ciclo de nitrógeno

El nitrógeno constituye un gas inerte, elemento principal del aire, representando el 78% de su volumen. El nitrógeno resulta un componente esencial de los aminoácidos, necesario para todos los seres vivos, pero no está disponible para ser usado directamente por éstos. Por tanto, se requiere la acción de microbios que viven en el suelo. A su vez, utilizan las enzimas para que el nitrógeno sea absorbido por las plantas como un nutriente, durante un proceso llamado fijación.

Hasta épocas recientes, el proceso de fijación consistía en el único ciclo conocido para la extracción del nitrógeno. En las últimas cuatro décadas, el hombre ha sido capaz de producir alimentos para una población cada vez mayor, gracias al desarrollo de nuevas variedades de cultivos de alto rendimiento y la ayuda de fertilizantes, con alto contenido de nitrógeno. Esta acción unida a la plantación de leguminosas que enriquecen con nitrógeno el suelo donde crecen y al óxido de nitrógeno, que se forma durante la combustión de hidrocarburos, registró un importante incremento de los niveles del nitrógeno. Como consecuencia aumentó el efecto invernadero, aunado a la reducción de la capa protectora de ozono de la atmósfera y subiendo el suministro de nitrógeno a la lluvia ácida, contribuyendo a la contaminación del agua potable.

El crecimiento de la población y la necesidad de aumentar la producción de alimentos de manera sustentable, sin degradar al medio ambiente, requerirá de estrategias de ingeniería que mejoren la eficiencia de las actividades relacionadas con el nitrógeno, desde la fabricación de fertilizantes hasta el reciclaje de desechos alimenticios.

3.2.2 Salud humana

En las investigaciones de la salud humana existen grandes desafíos para mejorar la calidad de vida y entre los principales retos declarados por la NAE se encuentran: **conocer mejor el funcionamiento del cerebro, desarrollar métodos para diagnosticar beneficios y efectos secundarios de los tratamientos y acceder de manera rápida a los resultados de los análisis, para disponer de un diagnóstico más preciso**, como se explica a continuación.

Hacer ingeniería inversa²³ del cerebro

La investigación en inteligencia artificial se centra en la creación de computadoras capaces de emular la inteligencia humana. Algunos expertos opinan que se diseñaron sin reparar en el funcionamiento del cerebro humano. Conocer el secreto de cómo trabaja el cerebro entrega una mejor orientación para la inteligencia artificial.

La ingeniería inversa del cerebro²⁰ tendría impactos que van más allá de la inteligencia artificial. El conocer cómo funciona el cerebro permitirá a los ingenieros simular sus actividades y tener una comprensión más profunda de sus reacciones y fallas. Estas simulaciones probarían las soluciones biotecnológicas para desórdenes cerebrales, como nuevos fármacos o implantes neurales que sustituirían el trabajo de las células nerviosas dañadas. Los dispositivos electrónicos implantados beneficiarían a la memoria de las personas con demencia, la vista de los ciegos, la audición de los sordos y la movilidad de las personas lisiadas.

Diseñar mejores medicamentos

La medicina conoce que las personas poseen, dependiendo de su información genética, diferentes respuestas al mismo tratamiento. Por ello, se desarrolla el concepto de medicina personalizada, el cual combina la información genética de las personas con sus datos clínicos para adaptar un tratamiento general a las condiciones particulares de cada paciente. La medicina personalizada posee grandes beneficios que van desde detectar tempranamente una enfermedad grave, aumentando con ello la esperanza de vida de los pacientes, hasta reducir el costo de los tratamientos y su duración al aplicar los medicamentos adecuados con las dosis óptimas.

La ingeniería enfrenta grandes retos como el desarrollo de herramientas y técnicas más eficaces para un rápido diagnóstico con tratamientos económicamente accesibles a toda la población.

3.2.3 Vulnerabilidad

Entre los principales objetivos declarados por la NAE se encuentran: **prevenir el terrorismo y los ataques cibernéticos** mediante el desarrollo de métodos que detecten las amenazas y las enfrenten en forma oportuna, como se explica a continuación.

Prevenir el terrorismo nuclear

Desde el inicio de la era nuclear, los materiales necesarios para fabricar armas nucleares se acumulan en todo el mundo. Los reactores nucleares para investigación o generación de energía se dispersan por el planeta y en ellos se producen las materias primas necesarias para fabricar dispositivos con esa energía.

Además, las instrucciones para construir artefactos explosivos con estos materiales han sido ampliamente publicadas. El principal obstáculo para la realización de un atentado terrorista se concentra en la adquisición del material fisible: plutonio o uranio altamente enriquecido. En el mundo ya se produjeron casi 2 millones de kilos de cada uno de ellos y se necesitan menos de diez kilos de plutonio o unas pocas decenas de kilos de uranio altamente enriquecido, para construir una bomba. La prevención del terrorismo nuclear constituye un gran desafío que ya aborda la ingeniería.

²³ Es un proceso que se realiza con el objetivo de obtener información o un diseño a partir de un producto, con el fin de determinar cuáles son sus componentes y de qué manera interactúan entre sí y cuál fue el proceso de fabricación.

Proteger el ciberespacio

Los sistemas informáticos se involucran en casi todas las áreas de nuestra vida; desde las comunicaciones electrónicas y los sistemas de datos, hasta el control de semáforos, reservas aéreas y de alojamientos. También incluye a los servicios militares, financieros y de emergencia.

Los servicios públicos que entregan electricidad gas y agua se paralizarían con interrupciones del ciberespacio. Los ataques a cualquiera de estas redes generan graves consecuencias para las personas y la sociedad. De hecho, ya se produjeron graves violaciones de la ciberseguridad en sistemas informáticos financieros y militares. El robo de identidad resulta un problema creciente. Los virus y otros ciberataques infectan pequeñas y grandes computadoras e interrumpen el comercio y la comunicación en Internet.

La seguridad de los sistemas informáticos plantea uno de los retos más complejos que ha enfrentado la ingeniería, desde la protección de la confidencialidad y la integridad de la información transmitida, hasta la prevención de ataques (*hacking*) a los sistemas de comunicaciones, transporte aéreo y terrestre, señales de radio y TV, teléfonos celulares y correos electrónicos.

3.2.4 Mejoramiento en la vida de las personas

Entre las principales metas declaradas por la NAE para alcanzar una mejor calidad de vida se encuentran **renovar y mantener la infraestructura de las ciudades, asegurar el suministro universal al agua potable, desarrollar las capacidades de las personas y fomentar la curiosidad en ellas y en la sociedad**, como se explica a continuación.

Restaurar y mejorar las obras de infraestructura

La infraestructura representa la combinación de los sistemas fundamentales que apoyan a una comunidad, región o país e incluye agua potable y alcantarillado, redes viales y ferroviarias, líneas de metro, aeropuertos, puertos, puentes, redes de distribución de energía y gas y hospitales, entre otros.

El crecimiento de la población, aunada al creciente urbanismo y la expansión de las ciudades, provoca un fuerte impacto en la demanda por nuevas obras de infraestructura. La sociedad se enfrenta al desafío de modernizar la infraestructura pública existente y construir la faltante. Este problema resulta particularmente relevante en las zonas urbanas.

Este es un gran objetivo para los ingenieros del siglo XXI que deberán solucionar estos problemas realizando diseños que incluyan consideraciones ambientales y de consumo eficiente de energía y agua, además de elementos estéticos que contribuyan a mejorar la calidad de vida de las personas.

Suministrar acceso al agua potable

Actualmente, la disponibilidad de agua resulta un problema crítico en múltiples lugares del mundo. La escasez del vital líquido generó mayor tasa de mortalidad en el mundo que las propias guerras. En algunos países, la mitad de la población carece de acceso al agua potable, ocasionando graves problemas de salud. Según antecedentes de UNICEF, unos 4.500 niños y niñas mueren diariamente debido a la ausencia de este elemento y de las instalaciones básicas de saneamiento²⁴.

La mayor parte del agua del mundo se encuentra en los océanos, es salada y no apta para el consumo. Alrededor del 3% del agua del planeta es fresca, pero la mayor parte de ella se encuentra en estado sólido. El agua para beber y para el uso personal, representa menos del 5% del agua fresca, cuya distribución también incluye la agricultura e industria. Existen diferentes tecnologías desarrolladas para asegurar este suministro como la desalinización, el tratamiento de aguas residuales y la optimización del sistema de

²⁴ https://www.unicef.org/spanish/wash/index_31600.html

riego para la agricultura. El futuro del planeta requiere asegurar el racionamiento de agua para toda la población, representando un gran desafío para la ingeniería.

Diseñar herramientas para descubrimientos científicos

Existe una frontera cada vez más difusa entre la labor de los científicos (explorar, experimentar y descubrir) y la de los ingenieros (crear, diseñar y construir). Hoy los ingenieros participan activamente en el proceso de descubrimiento científico de diferentes maneras. La labor de los científicos requiere de la experiencia de los ingenieros para diseñar herramientas, instrumentos y sistemas para adquirir nuevos conocimientos del mundo.

Los biólogos, por ejemplo, siempre buscan mejores herramientas para captar imágenes del cuerpo y del cerebro, por ello necesitan de los ingenieros para el diseño de nuevos tipos de microscopios o métodos matemáticos e informáticos para definir mejores tratamientos para las enfermedades y una mejor comprensión de la vida. Los astrónomos, por su parte, buscan respuestas a preguntas sobre el origen del universo y la existencia de vida fuera de la tierra y requieren de la ingeniería para diseñar y construir equipos e instrumentos que ayuden a observar y explorar el espacio.

En el siglo XXI, los ingenieros continuarán siendo socios de los científicos en la búsqueda de respuestas a nuevas interrogantes.

3.2.5 Tecnologías de información y comunicaciones

Entre los principales retos declarados por la NAE se encuentran: **enriquecer la realidad virtual, avanzar en el aprendizaje personalizado y en la informática para la salud**, como se explica a continuación.

Enriquecer la realidad virtual

La realidad virtual representa un entorno ficticio que brinda a los usuarios la sensación de estar en un lugar diferente al real, suministrando al cerebro información e ilusión a través de la combinación de los sentidos de visión, sonido y tacto.

La realidad virtual se convierte en una poderosa herramienta para la educación, formación y entrenamiento de personas, tratamiento de ciertas fobias y ansiedades sociales. Asimismo, se destina para diversas formas de entretenimiento.

El desafío de la ingeniería consiste en lograr que la realidad virtual se aproxime tanto como sea posible a la realidad, mejorando la resolución de la pantalla de vídeo, ampliando el campo de visión, mejorando la iluminación y la reproducción de las sensaciones de sonido, tacto y movimiento.

Avanzar en el aprendizaje personalizado

Las diferencias entre las preferencias y las aptitudes de los individuos han llevado a desarrollar un aprendizaje personalizado. El desarrollo de métodos de enseñanza para optimizar el aprendizaje requerirá del desarrollo de soluciones de ingeniería individualizadas, basadas en los estilos de aprendizaje, velocidades e intereses de cada estudiante. Este representa un desafío importante para los ingenieros de software del futuro.

Avanzar en la informática para la salud

Hoy ningún aspecto de la vida humana escapa al impacto de la era de la información y existe consenso en la existencia de que un enfoque global de la información de salud de la población, mejora la calidad y la eficiencia de atención médica, además de una mejor respuesta a las emergencias de salud pública. Esta información abarca desde los registros médicos de los pacientes individuales hasta el intercambio de datos de enfermedades.

En el siglo XXI se requerirá un enfoque de ingeniería de sistemas que rediseñe las prácticas de atención e integre redes informáticas de salud locales, regionales, nacionales y mundiales. El reto de los ingenieros será recopilar los resultados médicos autorizados de los pacientes y almacenarlos de manera segura, en una red diseñada para una atención rápida y eficiente.

3.3 Tendencias de la ingeniería global

La NAE publica, en *The Bridge*, opiniones sobre investigaciones recientes en educación, prácticas de ingeniería, políticas de ciencia y tecnología y el rol de la ingeniería y la tecnología en la sociedad²⁵, entre otros temas, con el objeto de estimular el debate y el diálogo sobre ellos. Además, realiza un simposio²⁶ anual de dos días, como una forma de conocer las tendencias de la ingeniería. Allí, ingenieros de 30 a 45 años exponen el trabajo que abordan en diferentes campos en los que la ingeniería tiene injerencia. En su presentación entregan un breve resumen de su campo de investigación, definen las fronteras de ese ramo, describen experimentos, prototipos y estudios de diseño, así como nuevas herramientas y métodos de investigación.

A continuación, se presentan algunos temas que han sido presentados en *The Bridge* y tendencias planteadas en los simposios realizados entre el 2012 y 2017, en los ámbitos de sustentabilidad, salud humana, vulnerabilidad, mejoramiento en la calidad de vida de las personas, procesos de manufactura y tecnologías de información y comunicaciones.

3.3.1 Sustentabilidad

Geoingeniería^{27 28}

El balance energético de la tierra resulta muy sensible a las acciones que realizan los seres humanos. Un indicador muy claro de la actividad del hombre se observa en el aumento en las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂), de 280 partes por millón (ppm), antes de la revolución industrial a aproximadamente 380 ppm hoy.

La geoingeniería o ingeniería climática constituye una nueva disciplina de la ingeniería que permite **modificar de forma artificial el sistema climático de la tierra para combatir los cambios que introdujo el hombre**. Entre las medidas que se han considerado se encuentran, entre otras, la modificación de la reflectividad de la atmósfera y la captura de carbono a gran escala a través de cambios en la química y biología de los océanos.

La aplicación de estos métodos tendría importantes efectos secundarios en el sistema climático y repercusiones morales y jurídicas, aspectos que la ingeniería debe tomar en consideración.

Estrategias energéticas para el futuro²⁹

El consumo de energía representa un interesante indicador de la calidad de vida de las personas. El consumo de energía en todo el mundo es cercano a 18 Terawatts³⁰ (TW) y la mayor parte se obtiene de combustibles fósiles. En múltiples países se ha incrementado el uso de fuentes alternativas de energía, debido tanto a las políticas nacionales para disminuir el impacto ambiental de estos combustibles, como

²⁵ <https://www.nae.edu/Bridge.aspx>

²⁶ US Frontiers of Engineering Symposium

²⁷ La geoingeniería o ingeniería climática es una disciplina nueva que aborda el problema del cambio climático, formulando técnicas especialmente desarrolladas para influir en el clima terrestre, siendo su propósito, combatir el calentamiento global.

²⁸ David S. Sholl and Armin Sorooshian. NAE, Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2012 Symposium

²⁹ Katherine Dykes and Jeremy Munday. NAE, Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2017 Symposium

³⁰ Un terawatt es una unidad de potencia equivalente a un billón de watts

a sus costos. En las próximas décadas, **las nuevas tecnologías de generación de energía con fuentes alternativas serán utilizadas a gran escala.**

La energía solar resulta abundante, aunque sólo constituye alrededor del 1% de la generación de electricidad de Estados Unidos. Se estima que en la superficie de la tierra supera los 105 TW. En el caso de la energía eólica, se abastece con ella cerca del 6% de la demanda de electricidad de Estados Unidos. Existen retos para estas energías, las cuales tienen la necesidad de reducir su costo y mejorar la eficiencia.

Ambas alternativas prometen ser fuentes importantes en la generación de electricidad, pero la naturaleza variable de ellas requiere que la red de distribución sea lo suficientemente flexible para la adaptación, a medida que ésta se incorpore al suministro de energía.

La energía Geotérmica³¹ es otra fuente de energía renovable cuya importancia aún se desconoce y que ha tenido un desarrollo muy lento en los últimos 20 años³². Las fuentes geotérmicas se emplean actualmente para entregar energía limpia en aplicaciones comerciales en diversos países. En el año 2012 la geotermia fue la cuarta mayor fuente de energía renovable en Estados Unidos, detrás de la hidroeléctrica, eólica y biomasa.

Vehículos eléctricos³³

La industria automotriz, en respuesta a los problemas del calentamiento global, realiza cambios importantes en el diseño de sus automóviles, reemplazando los tradicionales motores de combustión interna por motores híbridos y eléctricos.

Si bien el concepto de vehículos eléctricos no es nuevo, ya que los autos a batería eléctrica eran comunes a finales de 1800 y principios de 1900, las **mejoras en los sistemas de almacenamiento de energía, accionamientos e integración y control**, han hecho posible este cambio.

Reducción de la dependencia de los combustibles fósiles³⁴

Los combustibles fósiles han acompañado al hombre en su desarrollo durante los últimos 200 años, entregando mayor bienestar a la sociedad y contribuyendo a mejorar la calidad de vida de las personas.

El problema actual reside en que la humanidad tiene una dependencia excesiva de esta fuente de energía, siendo el principal causante del calentamiento global.

Existen diferentes tecnologías que se están desarrollando e investigando para diversificar la matriz energética de forma de satisfacer las necesidades potenciales de una población en crecimiento con combustibles que entreguen bienestar a las personas pero que tengan un menor impacto en el medio ambiente, tales como **nuevas tecnologías para la producción de combustibles o métodos enfocados en el aprovechamiento de la energía solar para la elaboración de combustibles.**

Petróleo y gas de enquistado³⁵

El petróleo y el gas natural se han utilizado por décadas como materia prima para el transporte y la industria química, específicamente el gas metano, que también se emplea para generación de electricidad. Estados Unidos que tradicionalmente ha sido un importador de petróleo, en octubre de 2013

³¹ Horne, Roland and Tester, Jefferson. Geothermal Energy: An Emerging Option for Heat and Power. NAE. The Bridge, April 14, 2014.

³² La energía geotérmica emplea el calor almacenado en la corteza terrestre, el que se utiliza directamente o indirectamente para calefacción y para generar electricidad, al circular vapor por una turbina.

³³ Michael W. Degner and Sanjeev Naik. NAE, Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2012 Symposium.

³⁴ Halil Berberoglu and Stuart Thomas. NAE, Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2013 Symposium.

³⁵ Billy B. Bardin and Christopher W. Jones. NAE, Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2014 Symposium.

produjo, gracias al desarrollo e implementación del sistema de fracturamiento hidráulico³⁶, más petróleo a nivel nacional que el importado.

Los gases que se desprenden del proceso, como el metano, el etanol y el propano, pueden ser utilizados directamente como combustibles. Su valorización como químicos requiere conversión y mejora. El Etano y el Propano se pueden convertir fácilmente usando tecnologías convencionales, pero el metano tiene barreras que se superan desarrollando nuevas tecnologías que faciliten su conversión en productos químicos.

Baterías eficientes³⁷

En Estados Unidos, aproximadamente el 82% de la energía consumida proviene de combustibles fósiles como petróleo, carbón o gas natural. Esta situación no es sostenible en el largo plazo, por tanto, la tendencia de la ingeniería consiste en minimizar la dependencia de los combustibles fósiles y reducir las emisiones de CO₂ mediante la electrificación de vehículos y el aumento en la infraestructura de la red eléctrica. Esto requiere [avanzar en el desarrollo de tecnologías eficientes para el almacenamiento de energía en baterías](#).

Celdas de combustible³⁸

La celda de combustible constituye un dispositivo electroquímico, en el que un flujo continuo de combustible y oxidante origina una reacción química que suministra energía eléctrica a un circuito externo. A diferencia de lo que ocurre con una batería, que entrega energía hasta que se agota su combustible, en las celdas este proceso resulta continuo si se mantiene el flujo de combustible y oxidante.

En los últimos años se ha logrado [avanzar en el desarrollo de las celdas de combustible](#), actualmente se utilizan para energía de respaldo y también como fuentes de energía primaria, como en el caso de los automóviles.

Las celdas de combustible son más eficientes que los motores de combustión, al generar electricidad directamente a partir de una reacción electroquímica y no a través de la combustión por lo que no se desperdicia parte de la energía como calor.

Aunque las pilas de combustible ofrecen grandes beneficios en eficiencia y reducción de emisiones, existen también desafíos relacionados principalmente con la infraestructura que se requiere para almacenar y distribuir el hidrógeno para pilas de combustible para automóviles, haciendo más complejo el sistema de abastecimiento de combustible para los vehículos.

Edificios sustentables³⁹

Los edificios representan el 40% del consumo de energía primaria y el 70% de la electricidad en los Estados Unidos. La construcción, operación y demolición de edificios generan una gran contaminación que causa problemas directa e indirectamente en la calidad del aire de las ciudades y en el cambio climático.

El diseño deficiente de los edificios y sistemas no sólo significa un desperdicio de recursos y energía, además causa impactos en el medio ambiente. El [desarrollo sostenible de edificios](#) surge como un objetivo importante durante todo el ciclo de vida de un proyecto de construcción.

³⁶ Técnica que permite extraer gas y petróleo del subsuelo perforando un pozo vertical u horizontal, entubado y cementado, con el objetivo inyectar agua a alta presión para extraer el hidrocarburo.

³⁷ Jeff Sakamoto and Daniel Steingart. NAE, Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2014 Symposium

³⁸ Satyapal, Sunita. Hydrogen and Fuel cells. NAE. The Bridge, September 22, 2014.

³⁹ Annie Pearce and John Zhai. NAE, Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2011 Symposium.

3.3.2 Salud humana

Tecnologías para entender y tratar el cáncer⁴⁰

El cáncer representa un grupo complejo de más de 100 enfermedades caracterizadas por el crecimiento incontrolado de las células. Aproximadamente el 40% de las personas serán diagnosticadas con alguna forma de cáncer en su vida, y alrededor del 15% morirán de cáncer. Esto ha motivado el desarrollo de un gran número de investigaciones en ésta área para **comprender de mejor manera el cáncer y encontrar tratamientos más adecuados**.

El cáncer presenta una serie de desafíos para los ingenieros de diferentes disciplinas. Es esencial entender cómo se desarrolla la enfermedad y cuáles son las condiciones necesarias para que algunas células cancerosas migren a otras partes del cuerpo, para poder prevenir su propagación. Se sabe que la detección precoz representa un factor importante en la supervivencia, por ello se necesitan equipos más sensibles y selectivos que identifiquen de manera temprana las células cancerosas y las moléculas que detectan su presencia.

El tratamiento del cáncer también presenta múltiples desafíos, incluyendo el impacto en los tejidos sanos el desarrollo de resistencia a las drogas, y la necesidad de determinar el tipo de droga y su dosificación para cada caso.

Es necesario desarrollar nuevos métodos para atacar las células cancerosas, enfoques terapéuticos alternativos, mejores métodos de reconocimiento de imágenes para identificar tumores pequeños y técnicas para ayudar a los cirujanos a extirpar completamente las células cancerosas. Estos desafíos requieren la intervención de la ingeniería.

Tecnologías para el corazón⁴¹

El corazón representa uno de los órganos más importantes y críticos del cuerpo humano. Un número cada vez mayor de dolencias afectan al corazón y a su capacidad de desempeñar las funciones primarias, sin embargo, el conocimiento científico y médico del sistema cardiovascular aumenta rápidamente. En esta encrucijada, entre los conocimientos médicos y las enfermedades de los pacientes, los ingenieros deben **encontrar nuevas maneras de transformar el entendimiento clínico en soluciones que aseguren la calidad de la vida humana**.

Hasta hace algunos años, las tecnologías disponibles para resolver dolencias cardíacas se centraron en grandes dispositivos rígidos de asistencia externa, que facilitaban esta función. Hoy existen diversos ejemplos de dispositivos en miniatura que entregan opciones terapéuticas adecuadas a las necesidades de cada paciente.

A medida que estas tecnologías evolucionan, la tendencia consiste en encontrar soluciones que imitan las condiciones biológicas naturales para trabajar junto con el cuerpo en lugar de dominarlo. Estas soluciones de ingeniería para curar, reparar, ayudar y/o reemplazar el corazón o sus componentes críticos de una manera armoniosa, representan las fronteras de las tecnologías para el sistema cardiovascular.

Entendiendo la complejidad del cerebro⁴²

El cerebro constituye un sistema complejo formado por redes microscópicas y macroscópicas que permiten su funcionamiento. Los esfuerzos para entender el cerebro requieren realizar mediciones simultáneas en múltiples escalas espacio temporales. A través del tiempo, se desarrolló la tecnología necesaria para registrar la actividad eléctrica del cerebro. La capacidad de registrar esta actividad

⁴⁰ Julie Champion and Peter Tessier. NAE, Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2016 Symposium.

⁴¹ Karen Christman and Ashley Peterson. NAE, Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2014 Symposium

⁴² Xue Han and Maryam M. Shanechi. NAE, Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2017 Symposium

introduce el gran desafío de **analizar y realizar modelaciones para entender el funcionamiento del cerebro y diseñar nuevos tratamientos para los diferentes desórdenes neurológicos**. Se desarrollan avanzadas técnicas matemáticas que abarcan los campos del aprendizaje automático, procesamiento de señales, control y teoría de la información.

La próxima generación de tecnologías requerirá el diseño y fabricación de implantes electrónicos, de baja potencia que registren y estimulen el cerebro, y transmitan de forma inalámbrica los datos al mundo exterior.

Neuroprótesis^{43 44}

El cerebro siempre constituyó un órgano de gran interés para los ingenieros. Las neuronas y sus conexiones procesan y transmiten la información de una manera muy atractiva para los investigadores de la informática y de diferentes campos de la ingeniería. Las neuronas representan organismos asombrosos capaces de dar respuesta a estímulos variados y adaptarse a condiciones cambiantes. La mayoría de los sistemas informáticos avanzados se eclipsan ante el poder computacional del cerebro humano.

La ciencia ha logrado **avanzar en el descubrimiento de los principios básicos del funcionamiento del cerebro**. Estos, junto con los avances en la informática, tecnología de la energía y microelectrónica, llevan a creer que algún día se utilizarán prótesis neuronales o interfaces electrónicas con el cerebro que restauren o aumenten la función fisiológica. Estas prótesis se convertirían en tratamientos reales para un gran número de pacientes con lesiones o enfermedades del sistema nervioso.

3.3.3 Vulnerabilidad

Ciberseguridad y privacidad⁴⁵

Los sistemas informáticos se involucran en casi todas las áreas de nuestra vida y existe una dependencia cada vez mayor de los computadores, tanto en el ámbito social como laboral. Por ello, uno de los desafíos planteados para la ingeniería para el siglo XXI consiste, precisamente **lograr seguridad y privacidad en la transmisión y almacenamiento de información**.

La ingeniería evoluciona hacia el diseño de sistemas seguros para los usuarios que protejan su información personal, hábitos de vida, condiciones de salud y creencias. Los nuevos sistemas se construyen usualmente sobre el hardware, sistema operativo, software, y protocolos existentes de la red y siguen una estrategia de defensa, que incorpora protección en capas y mecanismos para detectar y mitigar los efectos de los ataques cibernéticos. En su diseño, el ingeniero sigue una metodología que establece los objetivos de seguridad y privacidad del sistema, que incluyen la confidencialidad de los datos, integridad y disponibilidad del sistema, define el tipo de amenazas a resistir, demuestra que el diseño alcanza los objetivos de seguridad deseados, implementa el sistema y verifica su correcta instalación.

Prevención de desastres naturales⁴⁶

El mundo ingresa en una nueva era de desastres naturales que causan más daño que en el pasado. Las pérdidas económicas atribuidas a estas tragedias se elevan desde US\$75,5 mil millones en los años sesenta a US\$659,9 mil millones en la década de 1990, equivalente a una tasa de crecimiento anual del 8 por ciento.

⁴³ Implantación de un chip en el cerebro con el objeto de dotar de movilidad a personas parapléjicas, amputadas o con dificultades motrices.

⁴⁴ Timothy Denison and Justin Williams. NAE, Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2011 Symposium.

⁴⁵ David Brumley and Daniela Oliveira. NAE, Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2015 Symposium.

⁴⁶ James Done and Amir AgkaKouchak. NAE, Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 20XX Symposium.

Este crecimiento responde principalmente al aumento en la exposición al riesgo. La población de Florida, a modo de ejemplo, aumentó en 690% su exposición al riesgo, entre 1950 y 2010, debido al incremento de la población localizada en las zonas costeras, afectadas además por el cambio climático.

La investigación en desastres naturales ha logrado **avanzar en la capacidad de realizar pronósticos de riesgos**, avances que mejoraron la comprensión del comportamiento de estos fenómenos.

3.3.4 Mejoramiento en la vida de las personas

Construcción de rascacielos⁴⁷

En 2015 se produjo un récord en la construcción de edificios de más de 200 metros de altura. Ese año, se construyeron 106 edificios de esta altura, 62 de ellos en China. Esto representa una tendencia creciente: **construir edificios de mayor altura**.

Los rascacielos generan reacciones encontradas. Por una parte, se les aprecia como obras arquitectónicas imponentes y símbolos del poder, pero a su vez se consideran destructores de la calidad de vida urbana, al incentivar la densificación vertical.

Desalación y purificación de agua⁴⁸

Uno de los grandes desafíos de la ingeniería consiste en **asegurar el suministro confiable de agua para una población mundial en crecimiento**. Las regiones más afectadas en el futuro por la escasez de agua dulce analizan diferentes alternativas para aumentar su suministro, como procesos tradicionales para desalinizar y purificar agua, utilizando ósmosis inversa, desarrollar nuevos procesos de desalinización, recuperar aguas residuales y tratar químicamente los residuos industriales.

La ósmosis inversa, una tecnología muy eficiente y ampliamente adoptada para desalar agua, requiere una gran cantidad de energía para crear las presiones necesarias para separar el agua de la sal. Además, esta tecnología genera impactos ambientales al eliminar la salmuera resultante del proceso.

Es necesario desarrollar nuevas tecnologías para optimizar el uso de la energía y disminuir el impacto de este proceso en el medio ambiente. La tendencia actual consiste en buscar nuevos sistemas de tratamiento, altamente eficientes, confiables y duraderos que se escalen para su uso en aplicaciones tanto distribuidas como centralizadas.

Asistentes robóticos⁴⁹

Hasta ahora, los sistemas robóticos se utilizaron principalmente en ambientes cuidadosamente controlados, realizando tareas altamente repetitivas y reprogramables, como en las líneas de ensamblaje. Los sistemas robóticos que operan fuera de las instalaciones industriales suelen tener una supervisión humana cercana.

Los avances recientes han hecho posible **tener una interacción más segura entre los robots y los seres humanos, logrando una cooperación en diferentes tareas** tales como: realización de cirugía en forma remota, manejo de inventarios o limpieza del hogar.

⁴⁷ María Paz Gutiérrez and Marija Trcka. NAE, Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2017 Symposium

⁴⁸ Amy Childress and Abhishek Roy. Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2016 Symposium

⁴⁹ Brian Gerkey and Carmel Majidi. NAE, Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2014 Symposium

Vehículos autónomos⁵⁰

Los recientes avances tecnológicos permitieron que la ingeniería evolucione hacia **diseñar vehículos con interfaces avanzadas para la toma de decisiones**, desarrollando automóviles, drones y vehículos submarinos no tripulados, capaces de realizar tareas de gran complejidad sin intervención humana.

Búsqueda de exoplanetas⁵¹

En las últimas dos décadas, los astrónomos encontraron múltiples planetas que orbitan estrellas similares al sol, denominados exoplanetas. Estos planetas resultan difíciles de encontrar y estudiar desde la tierra por la distorsión que se produce en el espectro electromagnético al atravesar la atmósfera. Por lo tanto, se debe **construir una nueva generación de telescopios espaciales que encuentren e identifiquen exoplanetas similares a la tierra**. El diseño y fabricación de grandes telescopios ópticos en el espacio requieren del desarrollo de ingeniería avanzada.

3.3.5 Procesos de manufactura

Electrónica flexible⁵²

Uno de los objetivos de frontera en la investigación en electrónica consiste en transformar los procesos convencionales de fabricación para utilizar superficies más blandas y flexibles. La investigación en nuevos materiales y tecnologías ha permitido **desarrollar productos que incorporen el control electrónico y fuentes de energía en cualquier objeto**.

Los dispositivos electrónicos flexibles se han aplicado en diferentes materiales tales como plásticos, papel, fibras, e incluso tejidos biológicos. Estos permiten una gran variedad de aplicaciones, en campos que van desde la sustentabilidad energética hasta las redes de sensores inteligentes y la bio-electrónica.

Algunos ejemplos específicos de aplicación de electrónica flexible se encuentran en iluminación eficiente, celdas fotovoltaicas livianas, papeles murales con sensores e implantes electrónicos auto absorbibles.

Manufactura cognitiva⁵³

La industria manufacturera sufrió el impacto de la rápida adopción de las tecnologías de información. Los sistemas de fabricación ejecutan operaciones y disponen de sistemas de control que monitorean la producción, calidad y estado de los componentes en tiempo real. Estos sistemas cuentan con dispositivos que entregan alertas, en respuesta a indicadores preestablecidos y las reportan a operadores humanos, que responden en base a su conocimiento del proceso y juicio.

La manufactura cognitiva consiste en ir un paso más allá en el diseño del sistema de control de producción permitiendo **disponer de un sistema de fabricación con capacidades de percepción y juicio para el funcionamiento autónomo**. Los sistemas de fabricación cognitiva perciben los cambios en el proceso de producción y “saben” cómo responder a estas fluctuaciones dinámicas mediante la adaptación para la permanencia dentro de los rangos objetivos de costo y tasa de producción.

Manufactura aditiva⁵⁴

Las tecnologías de manufactura aditiva fabrican componentes complejos en capas, directamente desde un archivo electrónico, elaborado en algún software de diseño asistido por computador (CAD), sin utilizar herramientas intermedias. Algunas técnicas incluyen modelado por deposición fundida (FDM), fabricación

⁵⁰ De Schawn Jackson and Marco Pavone. NAE, Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2016 Symposium

⁵¹ Sara Seager and Mitchell Walker. NAE, Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2015 Symposium

⁵² Yueh-Lin Loo and Tse Nga Ng. Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2013 Symposium

⁵³ Elizabeth Hoegeman and J. Rhett Mayor. NAE, Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2013 Symposium

⁵⁴ Carolyn Seepersad and Michael Siemer. NAE, Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 20XX Symposium

por haz de electrones (EBF3), sinterizado directo de metal por láser (DMLS), fusión por haz de electrones (EBM), sinterizado selectivo por calor (SHS), sinterizado selectivo por láser (SLS), proyección aglutinante (DSPC), laminado de capas (LOM), estereolitografía (SLA) y foto polimerización por luz ultravioleta (SGC).

La fabricación aditiva cuenta con ventajas estratégicas, incluyendo la libertad del diseñador de **construir piezas de geometrías complejas**, no materializadas de otra manera, la posibilidad de realizar modificaciones en el diseño y la factibilidad de reparar en un corto plazo y a menores costos, piezas de alto valor.

Metamateriales⁵⁵ ópticos y mecánicos⁵⁶

El concepto de “metamaterial” se relaciona con **diseñar materiales artificiales con propiedades inusuales**, relacionadas más con su estructura que con sus componentes. Los metamateriales revolucionaron la disciplina de la ingeniería de materiales y contribuyeron al diseño de innovaciones, con características únicas.

Los metamateriales ópticos, por ejemplo, permitieron el control de los campos eléctricos y magnéticos de la luz para materiales con permitividad⁵⁷ y permeabilidad⁵⁸ positiva, negativa o nula, para nuevas posibilidades en su uso.

Los metamateriales mecánicos cuentan con características muy diferentes a los estándares, con razones de Poisson⁵⁹ negativas. Así, se crearon sólidos que se comportan como líquidos y materiales ultralivianos, de baja densidad y gran resistencia.

3.3.6 Tecnologías de información y comunicaciones

Máquinas que aprenden solas⁶⁰

Hasta hace pocos años, las máquinas se diseñaban para realizar funciones especializadas, utilizando los principios de la ingeniería. En la era de la información, el volumen de datos recibidos y transmitidos aumenta en un 40% anualmente y se transmite a tasas cada vez más rápidas. Los datos a su vez provienen de diferentes fuentes, en distintos formatos: documentos, video y audio, entre otros. Hoy se requiere **diseñar y construir un nuevo tipo de máquinas, capaces de leer datos y tomar decisiones en base a ellos** usando técnicas de aprendizaje automática u otras del campo de la inteligencia artificial.

Computación y sistemas de visión de alto rendimiento⁶¹

Los teléfonos celulares cuentan con capacidades impresionantes, inimaginables hace apenas diez años, a modo de ejemplo, disponen de cámaras de alta calidad para capturar fotos y videos de alta resolución y transmitirlos por internet en cualquier parte del mundo. Esto representa la culminación de diferentes avances técnicos que comenzaron con la invención del hardware para computación gráfica, en la década de 1960, y la fotografía digital en los años setenta.

Actualmente disponemos de computadoras con un poderoso hardware para realizar gráficos cada vez más sofisticados, pantallas cuya resolución se acerca a la del ojo humano y cámaras digitales de alta resolución y bajo costo.

⁵⁵ Es un material artificial que presenta propiedades electromagnéticas inusuales, propiedades que proceden de la estructura diseñada y no de su composición, es decir, son distintas a las de sus constituyentes.

⁵⁶ Jennifer Dionne and Luke Sweatlock. NAE, Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2015 Symposium

⁵⁷ Tendencia de un material a polarizarse ante la aplicación de un campo eléctrico.

⁵⁸ Capacidad de una sustancia o medio para atraer y hacer pasar a través de ella campos magnéticos.

⁵⁹ Constante elástica que entrega una medida del estrechamiento de una sección de un prisma de material elástico lineal e isótropo, cuando se estira longitudinalmente y se adelgaza en las direcciones perpendiculares a la de estiramiento.

⁶⁰ Rajan Bhattacharyya. NAE, Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2017 Symposium

⁶¹ David Luebke and John Owens. NAE, Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2016 Symposium

La unidad de procesamiento de gráficos (GPU) de los computadores personales (PCs) y *smartphones* representa décadas de la evolución conjunta de los algoritmos y las arquitecturas de silicio que los ejecutan. En este proceso, la GPU de los PCs y celulares evolucionaron desde un procesador fijo a uno que opera en paralelo, realizando miles de subprocesos de manera simultánea.

La tecnología de visualización atraviesa grandes cambios, las pantallas de PCs y *smartphones* están siguiendo la ley de Moore⁶² logrando impresionantes avances en su resolución y disminuyendo su costo.

El desarrollo de esta tecnología abre enormes posibilidades para la ingeniería desde **diseñar máquinas que aprendan y superen a los humanos en el reconocimiento de los objetos o el entendimiento del habla o disponer de modernos sistemas de entrenamiento**. Las aplicaciones más promisorias se observan en la realidad virtual⁶³ y la realidad aumentada⁶⁴.

Procesamiento semántico⁶⁵

La semántica representa el estudio del significado. Un gran número de fenómenos siguen ciertas reglas semánticas, por ejemplo, la semántica del habla del ser humano, la semántica asociada con una imagen de una escena, y la semántica del lenguaje natural.

Se requiere **realizar procesamiento semántico para efectuar tareas de alto nivel** tales como inferir sentimiento de un autor a partir de un blog o la búsqueda en una colección de documentos, imágenes y videos o la traducción de un texto de un idioma a otro.

En estos días, los usuarios leen las noticias, miran televisión y permanecen conectados con sus amigos y familiares a través de Internet. La necesidad de utilizar aplicaciones basadas en internet resulta cada vez mayor. El satisfacer estas demandas requiere una comprensión cada vez más profunda de semántica.

Diseño y análisis de redes sociales⁶⁶

La informática se encuentra presente hoy en cada uno de los aspectos de la vida cotidiana y en la sociedad se producen grandes cambios, a medida que las nuevas tecnologías de redes sociales y teléfonos inteligentes se adoptan en forma masiva. La conexión a redes sociales en línea abre nuevas vías para la comunicación y el compromiso cívico, las plataformas de salud en línea permiten que las personas compartan información médica. La educación en línea causa que numerosas universidades reconsideren su estrategia a largo plazo.

La integración social y física de la informática permite **detectar y enviar a las personas información personalizada, monitorear su estado de salud, conocer sus intereses y patrones de consumo**, pero, además, está la preocupación sobre la privacidad de la información, en una sociedad cada vez más “transparente”. Todos nos vemos afectados por estos cambios. Esto genera grandes desafíos para la ingeniería.

⁶² Ley empírica formulada por el cofundador de Intel, Gordon E. Moore en 1965, cuyo cumplimiento se ha podido constatar hasta el día de hoy y que expresa que aproximadamente cada dos años se duplica el número de transistores en un microprocesador.

⁶³ Realidad virtual (RV) es un entorno de escenas u objetos que tienen apariencia real por lo que se crea en el usuario la sensación de estar inmerso este mundo. Este entorno es contemplado por el usuario a través de un dispositivo conocido como gafas o casco de realidad virtual.

⁶⁴ Realidad aumentada (RA) es un término que se usa para definir la visión de un entorno físico del mundo real, a través de un dispositivo tecnológico. Este dispositivo añade información virtual a la información física que ya existe, combinando los elementos físicos tangibles con elementos virtuales, creando de esta manera una realidad aumentada en tiempo real.

⁶⁵ Aleksandar Kuzmanovic and Amarnag Subramanya. NAE, Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2011 Symposium

⁶⁶ Tanzeem Choudhury and Scott Klemmer. NAE, Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2013 Symposium

Juegos serios^{67 68}

Los videojuegos se convirtieron en una industria multimillonaria que avanzó el estado del arte en los gráficos de computadora, interacción con el usuario y desarrollo de software y hardware. Con estos avances, se adaptaron los videojuegos para la formación, simulación, educación, salud, y otros usos.

Inicialmente se utilizaron los juegos serios para ayudar a los estudiantes y profesores en sus procesos de aprendizaje. Hoy en día, la categoría de mayor crecimiento en juegos serios se observa en la salud. Existe la posibilidad cierta de **desarrollar aplicaciones de videojuegos para terapias y cambio en los hábitos de las personas**.

3.4 Tecnologías emergentes

El *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) publica, desde el año 1899, la revista *MIT Technology Review*⁶⁹. En ella se presentan anualmente las diez principales tecnologías emergentes, entendiéndose como tales, aquellas que tendrán un gran impacto en la vida de las personas. A continuación, se presenta un resumen de aquellas tendencias presentadas en este documento, en los últimos 3 años, en los ámbitos de: sustentabilidad, salud humana, vulnerabilidad, mejoramiento en la calidad de vida de las personas, procesos de manufactura y tecnologías de información y comunicaciones.

3.4.1 Sustentabilidad

Gas natural libre de CO₂⁷⁰

El gas natural representa una de las principales fuentes de generación de energía eléctrica. Si bien es menos contaminante que el carbón, constituye una importante fuente de emisión de CO₂. En Houston (EE. UU.), la empresa Netpower desarrolla un proyecto piloto, con el que busca **generar energía utilizando como combustible gas natural, capturando el dióxido de carbono que se libera en el proceso**. En caso de obtenerse los resultados deseados, con esta tecnología se produciría energía sin generar CO₂, a partir de un combustible fósil, a un costo razonable.

El proceso consiste en capturar el dióxido de carbono que se produce en la combustión del gas natural y someterlo a altas presiones y temperaturas, con lo que se genera un gas que es utilizado para impulsar una turbina. El dióxido de carbono remanente de este proceso se encapsula y vende para la inyección en pozos petroleros para la extracción del crudo. Se espera que esta tecnología esté disponible en 3 o 5 años.

Energía de ondas electromagnéticas⁷¹

La Universidad de Washington (EE. UU.), Texas Instruments y la Universidad de Massachusetts en Amherst (EE. UU.), han logrado **desarrollar tecnología para que los dispositivos inalámbricos, que usan señales de radio cercanas, tales como wifi, obtengan la energía para operar de las ondas electromagnéticas cercanas**, sin requerir de baterías y cables de alimentación.

Esta tecnología se basa en un principio conocido como retrodispersión en el que un dispositivo, en lugar de generar una señal, refleja las señales que recibe en un proceso similar al que se realiza al enviar un mensaje de auxilio con un espejo que refleja la luz del Sol. Se espera que esta tecnología esté disponible en 2 a 3 años más.

⁶⁷ Este es el término utilizado para describir la creciente aplicación de tecnologías de videojuegos en dominios no relacionados con el juego.

⁶⁸ Li-Te Cheng and Ben Sawyer. NAE, Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2012 Symposium

⁶⁹ www.technologyreview.es

⁷⁰ Temple, James. Gas natural libre de CO₂. MIT Technology Review. 22 de febrero de 2018

⁷¹ Harris, Mark. Sacar energía del aire. MIT Technology Review. 24 de febrero de 2016.

Energía termo fotovoltaica solar⁷²

La energía solar fotovoltaica ha reducido de manera importante sus costos y se ha convertido en una alternativa económicamente viable para generar energía eléctrica. Los paneles de silicio, sin embargo, al captar principalmente la luz visible en el espectro del violeta y el rojo, no pueden absorber más que una fracción de la energía del sol. Un equipo de científicos del MIT ha desarrollado un nuevo dispositivo de energía solar, que capta una proporción de luz mucho mayor de la energía del Sol.

Esta tecnología consiste en **convertir la luz solar en calor, para posteriormente convertir el calor nuevamente en luz, pero concentrada en el espectro electromagnético que las celdas solares aprovechan mejor**. El dispositivo es aún un prototipo, pero se espera que con diferentes mejoras alcance el doble de eficiencia que las celdas fotovoltaicas convencionales.

Además, como el calor es más fácil de almacenar que la electricidad, sería posible acumularlo para generar electricidad cuando el sol se oculte. Si los investigadores logran aumentar los niveles de eficiencia e incorporan un dispositivo de almacenamiento, esta tecnología entregaría energía solar limpia, barata, y continua. Se espera su disponibilidad para 10 a 15 años.

3.4.2 Salud humana

Atlas celular⁷³

Un consorcio internacional integrado por científicos de Estados Unidos, Inglaterra, Suecia, Israel, Holanda y Japón desarrolla un proyecto que busca conocer de qué está hecho el ser humano para **crear un catálogo con los 37,2 billones de células del cuerpo, utilizando herramientas de la genómica moderna y la biología celular**. Este proyecto dispondrá de modelos precisos de la fisiología humana, acelerando con ello el descubrimiento y pruebas de nuevos fármacos. Se espera que esta tecnología esté disponible en 5 años.

Apps para el ADN⁷⁴

El genoma humano contiene información valiosa sobre los riesgos de salud, las características físicas y los datos genealógicos de las personas. El genoma define en gran parte las características de cada persona y las probabilidades de contraer determinadas enfermedades o de transmitir a sus hijos algún trastorno genético importante. Secuenciar el ADN resulta cada vez más barato, por lo que han surgido empresas que venden aplicaciones para dispositivos móviles en las que, a partir de una muestra de saliva, secuencian y pueden **analizar la información genética de una persona, digitalizan los resultados y poner estos datos a disposición de los consumidores**, a una quinta parte del costo actual. Los resultados digitalizados pueden a su vez ser consultados por desarrolladores de software que deseen utilizarlos para otras aplicaciones.

Revertir la parálisis cerebral⁷⁵

Científicos de la Escuela Politécnica Federal de Lausana (Suiza), del Centro Wyss de Bioingeniería y Neuroingeniería (Suiza), la Universidad de Pittsburgh (EE. UU.) y la Universidad Case Western Reserve (EE. UU.), desarrollan interfaces electrónicas cerebro-cuerpo, inalámbricas, en las que se instala un dispositivo de grabación en el cráneo, en contacto con la corteza motora y se disponen electrodos en la columna vertebral, debajo de la lesión. Mediante una conexión inalámbrica transmiten la intención motriz de una persona, en forma de descargas eléctricas a su columna vertebral, con ello, se puede **lograr, a través de**

⁷² Temple, James. Células Fotovoltaicas Calientes. MIT Technology Review. 23 de febrero de 2017.

⁷³ Connor Steve. El Atlas Celular. MIT Technology Review. 23 de febrero de 2017.

⁷⁴ Regalado, Antonio. Apps para el ADN. MIT Technology Review. 24 de febrero de 2016.

⁷⁵ Regalado, Antonio. Deshacer la parálisis. MIT Technology Review. 23 de febrero de 2017.

un **by-pass neuronal** que, a través del pensamiento, las personas puedan mover sus extremidades. Además de revertir la parálisis, los científicos esperan revertir la ceguera con chips colocados en el ojo, y restaurar los recuerdos perdidos por el Alzheimer. Se espera que esta tecnología se encuentre disponible en 10 a 15 años.

3.4.3 Vulnerabilidad

Privacidad digital⁷⁶

Los ingenieros informáticos perfeccionan herramientas criptográficas que realizan transacciones seguras, sin tener que revelar la información personal intercambiada. Actualmente está disponible una herramienta que permite **realizar transacciones digitales sin revelar más información que la necesaria**.

Esta herramienta representa un nuevo protocolo criptográfico llamado prueba de conocimiento y está basada en un método utilizado por los desarrolladores de Zcash, una criptomoneda con la que los usuarios podían realizar transacciones de forma totalmente anónima. Con ella, los bancos podrían incorporar la tecnología *Blockchain* a sus sistemas de pago sin ser necesario que entreguen información personal de sus clientes.

Reconocimiento facial⁷⁷

El reconocimiento facial constituye una tecnología que existe desde hace décadas. El nivel de desarrollo actual de esta tecnología y la mayor capacidad de procesamiento de los computadores, han hecho posible su uso masivo tanto para vigilancia como para seguridad.

La tecnología actual utiliza una técnica de inteligencia artificial que obliga al computador a centrarse en aquellas características faciales de una persona que la identifican de una manera más confiable. La empresa China Face++, desarrolló una tecnología que identifica 83 puntos en la cara y, considerando la distancia entre ellos, entrega una identificación.

La tecnología permite **realizar pagos de manera segura, utilizando sistemas de reconocimiento facial, autorizar acceso a instalaciones o rastrear criminales**, pero también genera preocupaciones por la privacidad de las personas.

Esta tecnología podría transformar de manera importante todos los sectores de la sociedad, desde el trabajo que realizan las policías, hasta la forma en la que las personas interactúan con bancos, tiendas y servicios de transporte, entre otros.

3.4.4 Mejoramiento en la vida de las personas

Auriculares de traducción simultánea⁷⁸

En un mundo cada vez más globalizado, el lenguaje representa una importante barrera para la comunicación. Google creó un par de auriculares, llamados Píxel Buds, que permiten **traducir un discurso prácticamente en tiempo real, haciendo posible que dos usuarios hablen, identificando y traduciendo automáticamente sus respectivos idiomas**.

Interfaces hombre máquina⁷⁹

La comunicación verbal es más rápida y eficiente que la comunicación a través de algún dispositivo táctil como un teclado o una pantalla. Por eso, gracias a los avances en el campo del aprendizaje de máquinas, el control de voz se ha vuelto mucho más común. Actualmente está disponible una tecnología que permite

⁷⁶ Orcutt, Mike. Privacidad Digital Perfecta. MIT Technology Review. 23 de febrero de 2017.

⁷⁷ Knight, Will. Pagar con la cara. MIT Technology Review. 23 de febrero de 2017.

⁷⁸ Metz, Rachel. Auriculares de traducción simultánea. MIT Technology Review. 22 de febrero de 2018

⁷⁹ Knight, Will. Interfaces para hablar con las máquinas. MIT Technology Review. 24 de febrero de 2016

combinar el reconocimiento de voz y el lenguaje natural, para crear interfaces de voz. Hoy la mayoría de los *smartphones* incorporan asistentes personales activados por voz como Alexa de Amazon, Siri de Apple, Cortana de Microsoft y Google Now.

Esta tecnología dista de ser perfecta, pero mejora rápidamente y se visualiza un futuro en el que no será necesario aprender a manejar las nuevas interfaces de los dispositivos, cada vez que exista una actualización. En el corto plazo, el reconocimiento de voz será lo suficientemente confiable como para interactuar con todo tipo de dispositivos.

Ciudad sensible⁸⁰

Luego del retraso experimentado por los proyectos de ciudades inteligentes o smart cities, surgió un nuevo concepto de ciudad del futuro: la ciudad sensible o ciudad con sensores. Los laboratorios Sidewalk de Toronto desarrollan el proyecto Waterfront, que consiste en reconstruir completamente un barrio urbano, utilizando para ello las últimas tecnologías digitales. El proyecto fue anunciado en octubre de 2017 y se estima que su construcción empezaría en 2019.

Uno de los objetivos del proyecto es **tomar las decisiones de diseño, política y tecnología para una ciudad, en función de información recopilada por una red de sensores que monitorean diferentes variables**, desde la calidad del aire, hasta los niveles de ruido y la actividad de las personas.

Hay varias ciudades que han mostrado su interés en ser las próximas en la lista de los laboratorios Sidewalk, entre ellas: San Francisco, Denver, Los Ángeles y Boston.

3.4.5 Procesos de manufactura

Impresión de metales en 3D⁸¹

La impresión en 3D existe al menos desde hace diez años y ha sido una innovación que ha estado orientada a que diseñadores que producen prototipos únicos, puedan imprimir estos a un bajo costo.

Hasta el momento, la impresión 3D en materiales distintos al plástico como es el caso del metal, resultaba caro y lento, pero hoy en día, es cada vez más barato y fácil hacerlo. Esto podría dar lugar a una nueva forma de **fabricar piezas complejas, revolucionando los procesos de producción en serie, de un gran número de productos.**

En el año 2017, 3D Markforged, una pequeña *start-up*, lanzó la primera impresora de metal tridimensional que cuesta menos de 80 mil euros. Además, la *start-up* Desktop Metal empezó a enviar las primeras unidades de su prototipo de impresión de metales en diciembre de 2017, actualmente ofrece además un software que genera diseños listos para imprimir.

Computadores cuánticos⁸²

El desarrollo de nuevos y potentes computadores cuánticos⁸³ realizará tareas imposibles para los computadores convencionales. Uno de sus usos posibles se observa en el diseño de moléculas con precisión. Con ellos se podrían **diseñar fármacos más efectivos, mejores baterías, compuestos para convertir la luz solar directamente en combustible líquido y celdas solares mucho más eficientes.** Investigadores de IBM utilizaron recientemente un computador cuántico para reproducir una pequeña molécula de tres átomos. Se espera que esta tecnología esté disponible en 10 a 15 años.

⁸⁰ Woyke, Elizabeth. La ciudad sensible. MIT Technology Review. 22 de febrero de 2018

⁸¹ Winick, Erin. Impresión de metales en 3D. MIT Technology Review. 22 de febrero de 2018

⁸² Rotman, David. El salto cuántico de los materiales. MIT Technology Review. 22 de febrero de 2018

⁸³ Un computador cuántico, al utilizar cúbits de información, en lugar de utilizar bits digitales en forma de ceros y unos, puede almacenar información en diferentes estados, no solamente como 0 y 1.

3.4.6 Inteligencia artificial

Aprendizaje reforzado⁸⁴

Este enfoque para la inteligencia artificial permite **lograr que los computadores aprendan como las personas, sin necesidad de darles instrucciones explícitas**. Esta tecnología conseguirá que los computadores actúen como humanos ya que les permite aprender solos, representando la próxima tendencia en aprendizaje automático.

Redes generativas antagónicas⁸⁵

La inteligencia artificial (IA) resulta capaz de **identificar cada vez elementos más complejos**. El problema que se presentaba hasta ahora es que para crear algo completamente nuevo, hace falta imaginación. Algo que no se consideró en la IA. En 2014 se presentó una nueva tecnología, conocida como redes generativas antagónicas (RGAs). En esta, dos redes neuronales, entrenadas con el mismo conjunto de datos, compiten en un juego de suma cero. La primera, conocida como red generativa, crea variaciones en las imágenes que ya ha visto, en tanto que la segunda, conocida como red discriminadora, debe identificar si es que la imagen que está viendo pertenece al conjunto de entrenamiento original o, si es una imagen falsa producida por la red generativa.

Con el tiempo, la red generativa logra generar imágenes que la red discriminadora no puede detectar que son falsas. Con ello, la red generativa aprende a reconocer y luego a crear imágenes diferentes aceptadas como reales por la red discriminadora, confiriéndole a las máquinas una especie de sentido de imaginación, para ayudar a que sean menos dependientes de los humanos. Sin embargo, esto a su vez las convierte en herramientas preocupantemente poderosas para la falsificación digital.

Inteligencia artificial en la nube⁸⁶

Hasta el momento, la IA había sido una tecnología utilizada principalmente por las grandes empresas tecnológicas tales como Amazon, Google y Microsoft, debido principalmente a su alto costo y a la dificultad en su implementación. El desarrollo actual de las herramientas de aprendizaje automático en la nube facilita el acceso a un número mayor de empresas. Amazon, Google y Microsoft pusieron a disposición de los usuarios servicios y sistemas que facilitan el uso de la inteligencia artificial, permitiendo **crear nuevos productos y servicios, utilizando la IA en la nube, en sectores diferentes a la tecnología**, como medicina, leyes, ingeniería, manufactura y energía, en los que se generarían importantes cambios si se logra implementar esta tecnología.

Robots que enseñan unos a otros⁸⁷

Existen ciertos trabajos que los humanos encargarían a los robots como empaquetar artículos en una bodega o atender a pacientes convalecientes, pero aún no es posible debido a que los robots no reconocen ni manipulan con facilidad objetos comunes. Las personas efectúan estas labores porque pasaron por un proceso de recopilación de datos llamado infancia. Para que los robots realicen esas tareas necesitan acceder a una gran cantidad de datos sobre cómo manipular los objetos, que proceden usualmente de una programación. Sería ideal que los robots intercambien esta información.

En el laboratorio de Tellex en Providence (Estados Unidos), se desarrolla un proyecto que consiste en entrenar a los robots para que aprendan a identificar y manipular artículos sencillos y luego suban sus datos a la nube, creando una biblioteca de datos, con indicaciones sobre la forma de manipular los

⁸⁴ Knight, Will. Aprendizaje Reforzado. MIT Technology Review. 23 de febrero de 2017

⁸⁵ Condliffe, Jamie. Redes generativas antagónicas. MIT Technology Review. 22 de febrero de 2018

⁸⁶ Snow, Jackie. Inteligencia artificial en la nube. MIT Technology Review. 22 de febrero de 2018

⁸⁷ Schaffer, Amanda. Robots que se enseñan unos a otros. MIT Technology Review. 24 de febrero de 2016

diferentes artículos. A esta biblioteca de datos accederían otros robots que analicen y utilicen esa información. De esta forma, se podría **lograr que una vez que una máquina aprende una tarea, comparte su experiencia con otras**, las que a su vez mejoran las instrucciones para la siguiente máquina. Esta tecnología estará disponible entre 3 y 5 años más.

Autos⁸⁸ y Camiones autónomos⁸⁹

Los accidentes de automóviles causados por errores humanos en la conducción matan a miles de personas al día, en todo el mundo. Existe actualmente tecnología para que se pueda **conducir un vehículo solo, de forma segura, en diferentes condiciones ambientales y de tránsito**. Sin embargo, existen algunas dificultades técnicas que aún no están resueltas y también problemas de costos y seguros, siendo probable que se presente al mercado en algunos años más, y no en 2022 como se pensaba⁹⁰. Una de las empresas que ha desarrollado esta tecnología es Tesla, que empezó en 2014 a vender vehículos con sensores ultrasónicos colocados en sus parachoques y tecnología que permitía evitar los choques, al integrar los sensores con una cámara, sistema de radar y frenos controlados digitalmente. Así, el auto toma el control de la conducción y se detiene antes de chocar.

En relación con los camiones, en Estados Unidos los accidentes de camión y autobús ocasionan cada año la muerte de 4.000 personas, y lesionan a otras 100.000. Las principales causas se concentran en la fatiga del conductor responsable de uno de cada siete accidentes mortales de camión, y más del 90% de los accidentes corresponden al menos en parte a algún error del conductor.

Existen diferentes empresas que prueban camiones sin conductor o autónomos. A pesar de los problemas técnicos por resolver, sus defensores indican que éstos serán más seguros y económicos. El desafío tecnológico que se presenta es grande debido a que los fabricantes deben demostrar que los sensores y la programación igualan las capacidades desarrolladas por los camioneros profesionales durante años. En Estados Unidos, la empresa Otto de San Francisco provee a los camiones de los equipos requeridos para que se conduzcan solos. Si bien no es posible aventurar qué parte de esos errores eliminaría la tecnología de conducción autónoma, ni qué nuevos errores producirían, las pruebas realizadas hasta el momento sugieren que estos se reducirán. Además de disminuir el número de accidentes, esta tecnología optimizaría el uso del camión, al no requerir que el conductor se detenga a descansar, junto con mejorar el uso del combustible, al mantener el vehículo una velocidad y aceleración óptima. Los camiones autónomos afectarán a un gran número de trabajadores de clase obrera. Se estima que en Estados Unidos hay 1,7 millones de camioneros, que serán afectados en un futuro próximo. Se proyecta que esta tecnología se presente al mercado en 5 a 10 años.

3.5 Perspectivas⁹¹ de la ingeniería

En un documento publicado por el Instituto de Ingenieros de Chile en 2000⁹² se plantea que:

“Como consecuencia de los cambios sociopolíticos a nivel mundial, la globalización de la economía y el desarrollo tecnológico se están alterando las distintas formas de trabajar y, en particular, el quehacer de la Ingeniería”

⁸⁸ Bradley, Ryan. Autopiloto de Tesla. MIT Technology Review. 24 de febrero de 2016

⁸⁹ Freedman, David. Camiones sin conductor. MIT Technology Review. 23 de febrero de 2017

⁹⁰ Juan de Dios Ortúzar

⁹¹ Entendemos por perspectivas aquellas tendencias que se puedan identificar actualmente, y que se proyectan en el tiempo, ya sea en los ámbitos tecnológicos, sociales, políticos u otros y que reflejan las principales transformaciones de la sociedad.

⁹² Instituto de Ingenieros de Chile (2001). Perspectivas y Desafíos de la Ingeniería chilena.

Este trabajo aborda un conjunto de perspectivas para la ingeniería, las que se presentan a continuación por su interés para este informe:

La ingeniería participa e influye en casi todas las esferas de la actividad humana.

- Con el transcurso del tiempo, por su alto contenido tecnológico e impacto social, la Ingeniería progresivamente participó en las más diversas actividades humanas.

La ingeniería se renueva con dinamismo produciendo tanto nuevo valor como obsolescencia.

- La Ingeniería se renueva a rápida velocidad y, al mismo tiempo, con un grado significativo de impacto. Esto se explica por el avance del conocimiento científico y tecnológico, y sus beneficios en el mercado y en la sociedad.

La ingeniería es altamente influenciada por las necesidades e intereses de la sociedad.

- Durante gran parte del Siglo XX, el avance de la ingeniería se basó en el gran empuje de la tecnología, es decir por conocimientos y sus aplicaciones que buscan nuevos usos y mercados. En la medida que la sociedad comprende de mejor forma el aporte de la ingeniería y las organizaciones sociales públicas y privadas se hacen más conscientes de su potencial, las necesidades e intereses sociales aumentan su grado de participación en la determinación de objetivos, diseños y obras de ingeniería.

Se desarrollan nuevas prácticas de la ingeniería que la transforman profundamente.

- Como consecuencia de los cambios señalados y también, de las propias variaciones en el mundo de la ingeniería, su práctica se transforma significativamente. Ello ocurre con la incorporación creciente de las necesidades de los clientes y usuarios en los diseños de ingeniería, con los nuevos métodos cuantitativos y computacionales para apoyar el trabajo de esta disciplina desde la fase de concepción hasta la ejecución de proyectos y por la forma de poner en marcha las obras.

En este documento se plantea que:

- El crecimiento de la población y las exigencias de mejor calidad de vida provocarán necesidades importantes de recursos y medios.
- Los recursos naturales escasearán progresivamente y en algunos casos se agotarán.
- En la elaboración industrial continuará la sustitución de recursos y la tendencia a reducir costos de los productos, procesos y servicios.
- La globalización de la economía afectará todas las actividades humanas, aumentando la integración entre los países.
- La sociedad avanza hacia formas de vida y trabajo más tecnificadas, la realización de tareas será más automatizada y mecanizada.
- La enseñanza y práctica de la Ingeniería se transformará como consecuencia de las tecnologías de información y comunicaciones y las necesidades de la sociedad.
- Continuará la evolución especializada e integradora entre las diversas ramas de la Ingeniería, apareciendo cada vez más necesaria la formación humanista y en ciencias sociales.
- El cuidado y conservación del medio ambiente, la calidad y seguridad de las obras, determinarán la necesidad de aumentar la responsabilidad social del ingeniero, como una respuesta a la exigencia ética de la sociedad.

4. OPORTUNIDADES PARA LA INGENIERÍA Y LOS INGENIEROS

Las tendencias sociales y tecnológicas indicadas anteriormente generarán nuevos desafíos y también, nuevas oportunidades para la ingeniería y para los ingenieros, las que se explican a continuación.

4.1 Mega tendencias sociales

En el proceso de transformación que experimenta el mundo, aparecen nuevas necesidades y para satisfacerlas la ingeniería cumple un rol relevante. Esto generará nuevas oportunidades, algunas se explican a continuación:

Transformaciones demográficas

El crecimiento de la población mundial generará una **mayor demanda por nuevas obras de infraestructura en los países en desarrollo** presentándose oportunidades para la ingeniería.

Se necesitarán más caminos, puentes, puertos, aeropuertos, trenes, hospitales, escuelas, sistemas de transporte público, centrales de generación de energía, plantas de elaboración de agua potable y de tratamiento de aguas servidas y la provisión de bienes y servicios.

Estos proyectos apuntan a que la población cuente con condiciones de vida dignas: viviendas, sistemas de telefonía, redes de comunicaciones, agua potable, alcantarillado y sistemas de transporte, entre otras. La mayor demanda provendrá de los principales países de Asia como China e India, y de África.

La mayor esperanza de vida y el incremento en el porcentaje de la población mayor **aumentará la demanda por servicios y tecnologías médicas, nuevos sistemas de pensiones y seguridad social e industrias dedicadas al uso del tiempo libre como hoteles, estadios y parques**, entre otras.

El crecimiento en el número de migrantes, desde las regiones en desarrollo a las desarrolladas, generará la necesidad de **modernizar la infraestructura existente para recibir una mayor cantidad de extranjeros, impulsando la actualización de proyectos de infraestructura y habilitación de nuevas obras** para que los migrantes cuenten con condiciones de vida dignas.

Desplazamiento del poder económico global

El desplazamiento del poder económico mundial, desde los países desarrollados hacia los territorios en desarrollo, genera una **mayor demanda de todo tipo de bienes y servicios**. Esto se observa con mayor fuerza en las principales economías emergentes: China, India, Brasil, México, Rusia, Indonesia y Turquía. Este cambio provoca una reorganización de las cadenas de valor globales y del comercio mundial,

Se requerirán nuevas empresas que provean bienes y servicios e ingenieros que las diseñen y trabajen en ellas.

Urbanización y expansión de las ciudades

Las ciudades presentan importantes oportunidades para mejorar la calidad de vida y el bienestar económico y social de las personas, por ello existe una tendencia creciente por migrar a las urbes y éstas deben expandirse.

Este proceso generará una **mayor demanda por obras de infraestructura vial y pública para las ciudades**, como caminos, puentes, trenes metropolitanos, hospitales, escuelas. Además, los migrantes requerirán bienes y servicios básicos como viviendas, sistemas de telefonía, redes de comunicaciones, energía, agua

potable, alcantarillado y sistemas de transporte público. En todas estas actividades se precisarán ingenieros.

Escasez de recursos

El incremento de la población, el aumento en el consumo de bienes y servicios por parte de las clases medias de países emergentes y la creciente urbanización, generarán una **mayor demanda de recursos como alimentos, agua, y energía**, situación que se agravaría por el efecto del cambio climático.

La mayor demanda de alimentos y por productos agrícolas orientados a la elaboración de biocombustibles generará una gran presión sobre las tierras cultivables e incrementarán la necesidad de agua para estas actividades. Esto entrará en conflicto con el consumo humano e industrial y los requerimientos para generar energía eléctrica.

Los ingenieros cumplirán un papel clave en el desarrollo de nuevas variedades vegetales modificadas genéticamente que requieran menos superficie de cultivo, en el diseño de sistema de irrigación más eficientes, en la implementación de sistemas de logística para llegar con alimentos a una mayor cantidad de personas, y en la creación de nuevas tecnologías que desalen agua a menores costos, utilizando una reducida cantidad de energía.

Los factores indicados anteriormente generarán, además, una mayor demanda por energía principalmente en los países en desarrollo como China, India y Rusia, que incrementarán su uso para satisfacer la demanda de sus industrias y de la población.

En el corto plazo, gran parte de la energía global seguirá proviniendo de fuentes no renovables como carbón, gas natural y petróleo. Los ingenieros tendrán un rol relevante en el diseño de nuevas tecnologías para generar energías limpias y hacer más eficiente su uso.

Cambio climático

El aumento en la temperatura del planeta, debido principalmente a la emisión de gases efecto invernadero, impacta a personas y países en su desarrollo económico y social. Hoy, los desastres naturales como sequías, inundaciones, aluviones y tormentas tropicales resultan más frecuentes y afectan a un número cada vez mayor de personas.

El incremento en la emisión de CO₂ además desencadenaría diferentes impactos en el ecosistema que superarían la capacidad de adaptación de los sistemas naturales y sociales con costos ambientales, sociales y económicos significativos, acelerando la pérdida de la biodiversidad. Esta situación se mantendrá, al menos en el corto y mediano plazo, debido a la necesidad de utilizar combustibles fósiles como principal medio para generar energía eléctrica.

Será necesario desarrollar nuevas fuentes de energía, de naturaleza renovable, que reemplacen a los combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica y en el transporte de personas y bienes.

Surge además la **necesidad de diseñar obras civiles y de infraestructura adecuadas para las nuevas condiciones climáticas, junto con sistemas que monitoreen las variables ambientales** que evidenciarían la aparición de desastres naturales.

Transformación digital

Las tecnologías de información y comunicaciones tuvieron un importante desarrollo, en los últimos años. Este responde, como se indicó anteriormente, a la convergencia de tres tecnologías: digitalización,

informática y telecomunicaciones. Actualmente, existen otras tecnologías emergentes que impulsarían innovaciones en áreas tales como: medicina, telecomunicaciones, industria manufacturera, energía, producción de alimentos o protección del medioambiente.

La transformación digital hoy facilita realizar a distancia labores que antes se hacían presencialmente. Con ello cambiaron las prácticas de la ingeniería, siendo posible ejecutar, utilizando plataformas digitales, un trabajo colaborativo integrando en tiempo real los aportes de profesionales de diversas partes del mundo.

Las oportunidades que se presentan para el desarrollo de la humanidad son inmensas: uso de inteligencia artificial en aplicaciones para teléfonos móviles, análisis de grandes volúmenes de información en dispositivos de uso doméstico, representación digital de sistemas del mundo real, uso de plataformas digitales para sostener conversaciones en diferentes idiomas, aplicación de sistemas inmersivos de realidad aumentada o virtual para el aprendizaje, uso de redes para interactuar en transacciones financieras y comerciales, con resguardos de seguridad entregados por las nuevas tecnologías de encriptación, utilización de robots industriales y personales, desarrollo de vehículos eléctricos y drones, diseño de nuevos procesos de manufactura, entre muchos otros. Todos ellos requerirán de ingenieros.

En el ámbito de la salud **se necesitará ingenieros que diseñen y desarrollen nuevos equipamientos médicos para mejores diagnósticos, y construyan implantes y prótesis.**

Las nuevas tecnologías impulsarán formas novedosas de enseñanza y la eliminación de las barreras idiomáticas mediante el uso de sistemas que traducirán el lenguaje oral en forma inmediata entre diferentes lenguas, abriéndose con ello nuevos espacios para los ingenieros.

Las innovaciones impulsan cambios importantes en la estructura del empleo. Actualmente se desarrollan nuevas industrias en tecnologías de avanzada, requiriéndose para su operación menos personal y más calificado, desplazando actuales puestos de trabajo. Las innovaciones requerirán un gran número de ingenieros, de nuevas y variadas especialidades. Una vez desarrolladas, serán necesarios más profesionales para su implementación.

4.2 ONU, objetivos de desarrollo

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas (ODS) representan **grandes e importantes oportunidades para la ingeniería y los ingenieros.** Las más relevantes se observan en aquellos ODS en los que la ingeniería tiene un rol protagónico, como los que se muestran en las tablas 3 y 4.

Nro.	Nombre	Descripción
6	Agua limpia y saneamiento	Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos
7	Energía asequible y no contaminante	Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos
8	Trabajo decente y crecimiento económico	Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos
9	Industria, innovación e infraestructura	Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación
11	Ciudades y comunidades sostenibles	Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles
12	Producción y consumo responsables	Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles

Tabla 3: ODS en los que la ingeniería tiene la más alta relevancia.
Fuente: Naciones Unidas.

En otros ODS, como los que se muestran en la siguiente tabla, los ingenieros cuentan con un rol importante, pero, existirán otros profesionales como Médicos, Agrónomos, Economistas o Científicos, que tendrán las mayores responsabilidades.

Nro.	Nombre	Descripción
1	Fin de la pobreza	Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo
2	Hambre cero	Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible
3	Salud y bienestar	Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades
10	Reducción de las desigualdades	Reducir la desigualdad en y entre los países
13	Acción por el clima	Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos

Tabla 4: ODS en los que la ingeniería tiene un rol importante.
Fuente: Naciones Unidas.

4.3 Ingeniería, grandes desafíos

Los grandes desafíos de la ingeniería para el siglo XXI, indicados en capítulos anteriores, planteados por la NAE, se agrupan en cinco grandes ámbitos de la preocupación de la humanidad por el futuro: sustentabilidad, salud, vulnerabilidad, mejoramiento en la calidad de vida de las personas y tecnologías de información y comunicaciones.

Sustentabilidad

En el ámbito de sustentabilidad se encuentran los desafíos relacionados con asegurar que el planeta albergue a las futuras generaciones, desarrollando nuevas fuentes de energía, amigables con el medioambiente, previniendo los daños a éste y revirtiendo la degradación de los últimos años.

Se necesitará desarrollos de ingeniería para capturar y almacenar la energía solar, a un costo accesible, para generar energía de fusión, diseñar sistemas para capturar el dióxido de carbono de la combustión de hidrocarburos y mejorar la eficiencia de las actividades relacionadas con el ciclo del nitrógeno.

Salud humana

En el área de la salud se observan los retos relacionados con mejorar la calidad de vida de las personas, como crear métodos que predigan los beneficios y efectos secundarios de los tratamientos y disponer en forma rápida de información para un diagnóstico preciso.

Se necesitará ingenieros para entender el funcionamiento del cerebro humano para probar nuevos fármacos o implantar dispositivos electrónicos que, con un by-pass a células nerviosas dañadas, recuperen ciertas funciones, también para desarrollar una medicina personalizada al combinar la información genética de las personas con sus datos clínicos.

Vulnerabilidad

En el ámbito de la vulnerabilidad se enfrentan desafíos para prevenir el terrorismo nuclear y proteger el ciberespacio, creando métodos para detectar las amenazas y enfrentarlas oportunamente.

Se necesitarán ingenieros para desarrollar sistemas de vigilancia que detecten en tiempo real el acceso a materiales por parte de personal no autorizado y para diseñar nuevos métodos que protejan de posibles ataques nucleares. Se precisarán además ingenieros para cuidar a personas, organizaciones y países de violaciones de ciberseguridad en sus sistemas informáticos.

Mejoramiento en la calidad de vida de las personas

Mejorar la calidad de vida de las personas encierra grandes desafíos para la ingeniería como renovar y mantener la infraestructura de las ciudades, suministrar acceso al agua potable y fomentar la curiosidad en ellas y en la sociedad.

Se necesitarán ingenieros para solucionar los problemas de infraestructura de las ciudades, realizando diseños con consideraciones ambientales y de consumo de energía y agua, además de elementos estéticos.

Otro de los desafíos de la ingeniería se observa en el diseño y construcción de sistemas capaces de estudiar el cosmos para encontrar respuestas a las preguntas fundamentales del hombre.

Tecnologías de información y comunicaciones

En el ámbito de las tecnologías de la información y comunicaciones (TIC), se encuentran los desarrollos en realidad virtual, aprendizaje personalizado y requerimientos para la salud.

Se necesitarán ingenieros para desarrollar nuevas herramientas para la educación, formación y entrenamiento de personas, tratamiento de ciertas fobias y ansiedades sociales.

También se requerirán estos profesionales para el rediseño de prácticas de atención e integración de redes informáticas de salud locales, regionales, nacionales y mundiales, que entreguen a los pacientes una atención rápida y eficiente.

4.4 Tendencias de la ingeniería global

Las tendencias de la ingeniería, identificadas en capítulos anteriores, ilustran sobre las fronteras del conocimiento en las diferentes áreas de acción en las que interviene esta disciplina. Esto representa nuevas oportunidades para la ingeniería, como las señaladas a continuación.

Sustentabilidad

En el ámbito de la sustentabilidad, se presentarán nuevas y desafiantes oportunidades para la ingeniería, algunas orientadas al desarrollo de nuevas tecnologías para:

- Modificar artificialmente el sistema climático de la tierra para revertir los cambios introducidos por el hombre.
- Generar y almacenar energías limpias, más eficientes, a menores costos, para ser utilizadas a gran escala, junto con redes de distribución flexibles, que se adapten a este suministro.
- Fabricar vehículos híbridos y eléctricos que disminuyan el impacto de los motores convencionales en el medio ambiente.
- Desarrollar nuevas tecnologías para producir biocombustibles.
- Construir edificios que hagan un uso más eficiente de los recursos y de menor impacto en el medio ambiente.

Salud humana

En el ámbito de la salud, se presentarán nuevas oportunidades para la ingeniería relacionadas con detección y tratamiento de enfermedades, algunas implican el desarrollo de nuevas tecnologías para:

- Diseñar equipos más sensibles y selectivos que detecten precozmente las células cancerosas y determinen el tipo de droga y la dosificación más adecuada para cada caso.

- Desarrollar soluciones para curar, reparar, ayudar y/o reemplazar el corazón o sus componentes críticos que trabajen de manera armoniosa con el cuerpo.
- Diseñar y fabricar implantes electrónicos que, al registrar la actividad del cerebro, diseñen nuevos tratamientos para los diferentes desórdenes neurológicos.
- Desarrollar prótesis neuronales o interfaces electrónicas con el cerebro que restauren funciones fisiológicas en personas con lesiones o enfermedades del sistema nervioso.

Vulnerabilidad

En el ámbito de la vulnerabilidad de las personas, se desarrollan tecnologías que generarán importantes oportunidades para la ingeniería, relacionadas con ciberseguridad y prevención de desastres naturales, algunas también incluyen el desarrollo de nuevas tecnologías para:

- Diseñar sistemas informáticos para que los usuarios protejan su información personal, hábitos de vida, condiciones de salud y creencias personales.
- Realizar pronósticos de riesgos asociados a fenómenos naturales.

Mejoramiento de la calidad de vida de las personas

En el ámbito del mejoramiento en la calidad de vida de las personas, se presentarán atractivas oportunidades para la ingeniería:

- Desalar y purificar el agua utilizando menos energía, y disminuyendo su impacto en el medio ambiente.
- Desarrollar asistentes robóticos, automóviles y vehículos aéreos autónomos
- Fabricar sistemas robóticos con interfaces avanzadas para la toma de decisiones
- Diseñar y construir nuevos telescopios

Procesos de manufactura

En relación a los procesos de manufactura, se presentarán nuevas oportunidades para la ingeniería:

- Diseñar y construir dispositivos electrónicos flexibles, utilizando nuevos materiales, permitiendo el desarrollo de nuevos productos que incorporen sistemas de control.
- Diseñar sistemas de fabricación, con capacidades de percepción y juicio que permitan su funcionamiento autónomo.
- Elaborar piezas complejas utilizando técnicas de fabricación aditiva

Tecnologías de información y comunicaciones

En el ámbito de las Tecnologías de la información y comunicaciones (TIC), se presentarán interesantes oportunidades para la ingeniería:

- Diseñar y construir un nuevo tipo de máquinas, capaces de leer datos y tomar decisiones en base a ellos.
- Diseñar máquinas que aprendan a reconocer objetos, entender el habla e inferir pensamientos o sentimientos, a partir de documentos, imágenes o vídeos.
- Monitorear el estado de salud de las personas, conocer sus intereses y patrones de consumo.
- Desarrollar aplicaciones para terapias y cambio en los hábitos de la salud.
- Aumentar la productividad de las personas.

4.5 Tecnologías emergentes

En capítulos anteriores, se señalaron algunas tecnologías emergentes que tendrían un gran impacto en la vida de las personas. Dada la estrecha relación entre tecnología e ingeniería, su desarrollo implica importantes oportunidades para esta disciplina, tanto en las especialidades tradicionales como en las nuevas que surgirán de los requerimientos futuros.

Sustentabilidad

En el ámbito de sustentabilidad, las tecnologías mencionadas anteriormente como diseño de plantas generadoras de energía eléctrica con gas natural y que no emitan CO₂, desarrollo de tecnologías para que dispositivos inalámbricos obtengan energía directamente de la radiación electromagnética y creación de tecnología para fabricar celdas termo fotovoltaicas solares, requerirán de ingenieros, de diferentes especialidades en todo el ciclo de vida de los nuevos productos: diseño, desarrollo de instalaciones industriales, fabricación de nuevos equipos y componentes, comercialización y servicio de postventa.

Salud humana

En el área de la salud, las diferentes tecnologías señaladas como desarrollo de catálogo con las células del cuerpo humano, secuenciamiento y análisis en línea de la información genética de las personas, creación de interfaces electrónicas cerebro-cuerpo inalámbricas, requerirán de ingenieros de diferentes especialidades y también de nuevas especialidades para el diseño y fabricación de sistemas de diagnóstico y análisis y la fabricación de nuevos componentes.

Vulnerabilidad

Las tecnologías para que las personas realicen transacciones seguras y la existencia de reconocimiento facial digital, necesitarán ingenieros en informática, electrónica, matemáticas y el desarrollo de herramientas de inteligencia artificial.

Mejoramiento en la calidad de vida de las personas

Las distintas tecnologías como sistemas de traducción simultánea, interfaces hombre - máquina y ciudades con sensores, requerirán de ingenieros en todas las especialidades, para diseñar, fabricar y operar los nuevos sistemas y componentes.

Procesos de manufactura

En procesos de manufactura la impresión de metales en 3D y desarrollo de computadores cuánticos, realizarán tareas actualmente imposibles de efectuar, para lo que se precisarán ingenieros para diseñar y fabricar nuevos sistemas y componentes.

Tecnologías de información y comunicaciones (TIC)

El aprendizaje reforzado, redes generativas antagónicas, inteligencia artificial en la nube, robots que enseñan unos a otros y vehículos autónomos, requerirán de ingenieros de todas las especialidades.

5. CARACTERIZACIÓN DE LOS INGENIEROS Y SU FORMACIÓN

El cambio acelerado que se está produciendo en el mundo, requerirá formar ingenieros con un perfil diferente al actual.

Uno de los aspectos que cobró gran relevancia en el desarrollo económico y social de los países, reside en el número de ingenieros disponibles, sus capacidades técnicas y de gestión, nivel de formación y especialización.

En este capítulo se caracteriza el sistema actual de formación de ingenieros, considerando tanto la formación de pregrado como la de postgrado.

5.1. Interés por seguir carreras tecnológicas

En Chile existe un sistema de formación terciaria que ofrece una gran variedad de alternativas para los estudiantes que desean y pueden seguir estudios técnicos o profesionales. El primer aspecto a considerar se centra en su interés por seguir carreras tecnológicas, tanto a nivel de pregrado como de postítulo y postgrado.

5.1.1 Interés por carreras de pregrado

En septiembre de 2017, la OCDE publicó un informe⁹³ en el que examina diferentes aspectos relacionados con la educación para los 35 países miembros de la organización y algunos asociados como Brasil, Rusia, Argentina, China, y Colombia. Los resultados del estudio a nivel agregado indican, entre otros hallazgos, que las áreas de estudio más demandadas por los alumnos que ingresan a la educación terciaria son las de tecnologías, que en conjunto representan el 27% de las preferencias. En forma individual alcanzan para Tecnologías de Información y Comunicaciones (TICS), Ciencias e Ingeniería, 5%, 6% y 16% respectivamente, seguidas de las áreas de negocios, administración y derecho, que capturan el 23 por ciento.

Áreas de estudio más demandadas

En Chile, al igual que en otros países, el área de estudio más demandada por los alumnos que ingresaron a primer año de educación terciaria en 2018, fue la tecnología con el 24,7% de las preferencias, seguida por administración y comercio con 21,5% y salud con 17,54 por ciento.

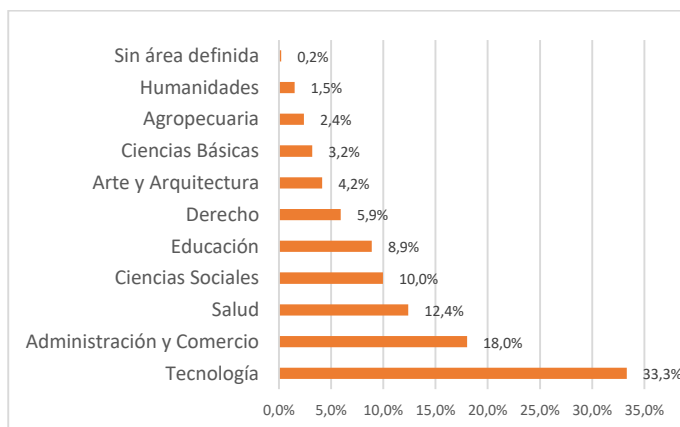


Figura 16: Porcentaje de alumnos matriculados en 1er. año de universidad por área. Año 2018

Fuente: Elaboración propia con antecedentes del Servicio de Información de Educación Superior (SIES). Ministerio de Educación.

⁹³ OCDE. *Education at a Glance 2017: OECD Indicators*.

Al considerar solamente las carreras universitarias, el área de estudio más solicitada por los estudiantes sigue siendo tecnología con un porcentaje aún mayor de las preferencias (33,3%), seguida por administración y comercio con 18,0% y salud con 12,4%, como se muestra en la figura 16.

Brecha de género por áreas

El estudio indicado anteriormente señala, además, que la participación de las mujeres en las áreas STEM resulta muy escasa, 50% en ciencias, 24% en ingeniería y 19% en TICS. Esta situación también se da en Chile y alcanza valores, para estudios universitarios, cercanos a 24 por ciento. Este porcentaje se encuentra muy distante de la participación de las mujeres en áreas como educación o salud, donde alcanza niveles superiores a 72%, como se muestra en la figura 17.

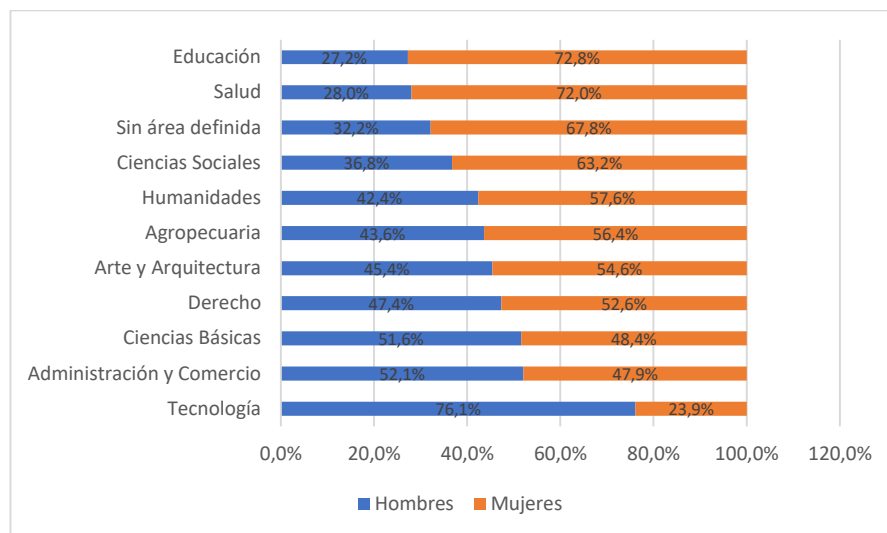


Figura 17: Alumnos matriculados por área y género 1er. año de educación. Año 2018
Fuente: Elaboración propia con antecedentes del SIES. Ministerio de Educación.

5.1.2 Interés por estudios de postítulo y postgrado

El desarrollo tecnológico genera cambios profundos en la sociedad y en el ámbito de acción de los ingenieros, que deberán mantenerse permanentemente actualizados en sus conocimientos.

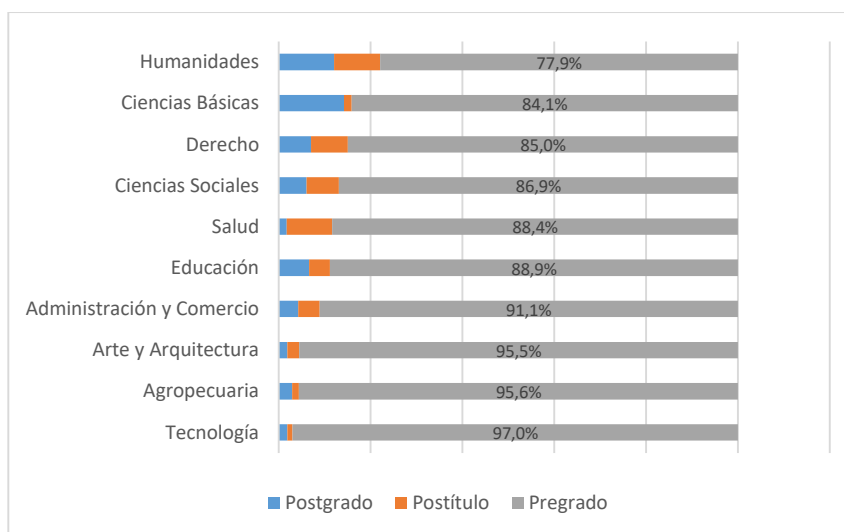


Figura 18: Alumnos matriculados en 1er. año por área y nivel de estudio. Año 2018.
Fuente: Elaboración propia con antecedentes del SIES. Ministerio de Educación.

A pesar de ello, al considerar la relación entre los alumnos matriculados en primer año, en diferentes áreas, la tecnología presenta una menor relación entre estudiantes de primer año matriculados en programas de postgrado y alumnos de pregrado, como se puede apreciar en la figura 18.

En relación a la participación de las mujeres en los estudios de postgrado y postítulo, la brecha de género en el área de tecnología resulta similar a la existente en los estudios de pregrado.

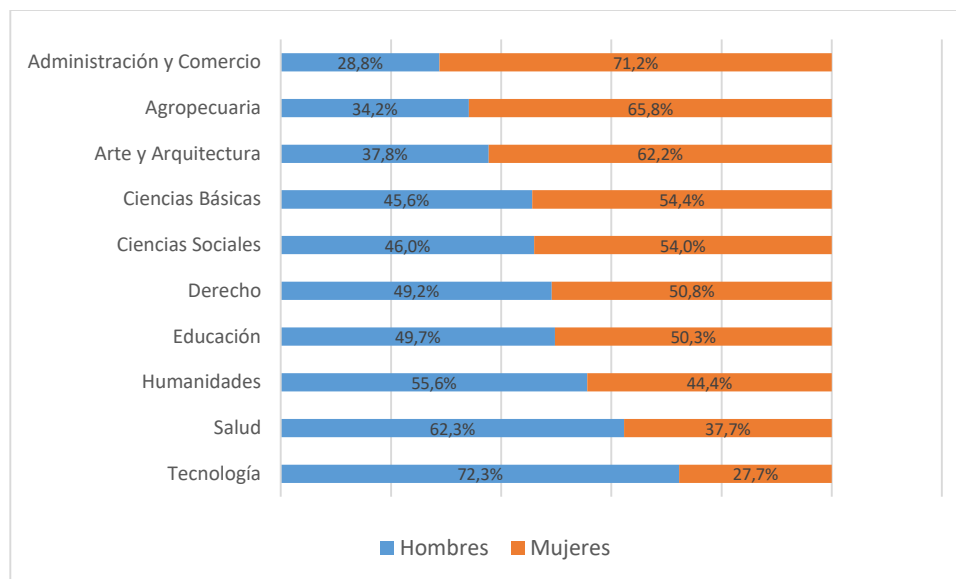


Figura 19: Alumnos matriculados 1er. año de postgrado-postítulo por área y género. Año 2018.

Fuente: Elaboración propia con antecedentes del SIES. Ministerio de Educación.

Esta es mayor que la brecha en otras áreas como administración y comercio y agropecuaria, en la que alcanza niveles cercanos a 70%, como se muestra en la figura 19.

5.2 Población de ingenieros

El Instituto de Ingenieros de Chile estimó, en un informe realizado en 2015, que el total de ingenieros civiles titulados entre 1965 y 2011, con una formación de más de cinco años, alcanzó los 58.858⁹⁴, considerando una población económicamente activa de 8,2 millones de personas⁹⁵. Esto representa el 0,7% de la población, valor muy bajo en comparación al porcentaje de ingenieros en países desarrollados. En el documento indicado anteriormente se realizó una proyección de los ingenieros civiles titulados el 2018, estimándose 7.911, correspondiendo el 46,7% de ellos a Ingenieros Civiles Industriales. Esta cifra representa 445 ingenieros graduados por millón de habitantes, número muy distante de los más de 2.800 recibidos por millón de habitantes de los países que más ingenieros gradúan anualmente: Rusia, Ucrania y Corea del Sur.

En el Anexo N°2 se muestran los países que más ingenieros gradúan en el mundo y la relación entre los recibidos y la población total, medida en ingenieros graduados por millón de habitantes⁹⁶. Se aprecia que el número total de ingenieros en Chile resulta bajo, no sólo en términos absolutos, también en términos relativos.

⁹⁴ Instituto de Ingenieros de Chile (2013). Informe Capital Humano para la Competitividad

⁹⁵ INE Compendio Estadístico 2017

⁹⁶ Si bien en ésta tabla se indica para Chile solamente el número de graduados de carreras de ingeniería de 10 a 12 semestres de duración y ella se comparan éstos con el total de ingenieros graduados en los demás países, se podrían estar comparando ingenieros civiles chilenos con ingenieros de países en los que puede denominar ingeniero a un técnico.

Además, en Chile, a diferencia de países desarrollados, resulta frecuente encontrar ingenieros ocupando posiciones relevantes en la administración pública, el sistema financiero, el comercio y la industria, cumpliendo principalmente tareas de gestión, siendo menor el número de ingenieros ejerciendo su profesión.

5.3. Sistema de formación de pregrado

Los ingenieros civiles, hasta 1981, se formaban en un número reducido de universidades públicas y privadas⁹⁷. En 1981, el gobierno militar promulgó la Ley General de Universidades. Con este nuevo cuerpo legal, se inició la privatización de la educación superior, abriéndose la posibilidad de crear universidades privadas, sin dependencia del Estado. Así, se desarticuló la red de Casas de Estudio públicas existente, convirtiendo a las sedes regionales de las universidades de Chile y Técnica del Estado en Casas de Estudio regionales autónomas.

Actualmente, el Sistema Nacional de Formación de Ingenieros Civiles (SNFIC) se integra por un total de 48 universidades, habilitadas por ley para otorgar el título de Ingeniero Civil. Entre ellas se distinguen 24 universidades, públicas y privadas pertenecientes al Consejo de Rectores de las Universidades Chilenas (CRUCH)⁹⁸ y 22 universidades no adscritas a este Consejo. Entre las universidades del CRUCH, a su vez, se encuentran 15 universidades estatales y 9 privadas. A este grupo se suman dos estatales, la Universidad de Aysén y la Universidad de O'Higgins, creadas por la ley 20.842⁹⁹, publicada el 7 de agosto de 2015 y promulgada el 3 de agosto de ese mismo año.

En conjunto, el SNFIC ofrece 290 carreras de ingeniería, con duraciones comprendidas entre 10 y 12 semestres. En éste número se incluyen tanto las carreras tradicionales, como similares con diferentes nombres y también nuevas carreras surgidas en los últimos años. Del total, 191 pertenecen al CRUCH y 99 a universidades privadas, no adscritas al CRUCH. En la figura 20 se muestran los porcentajes correspondientes.

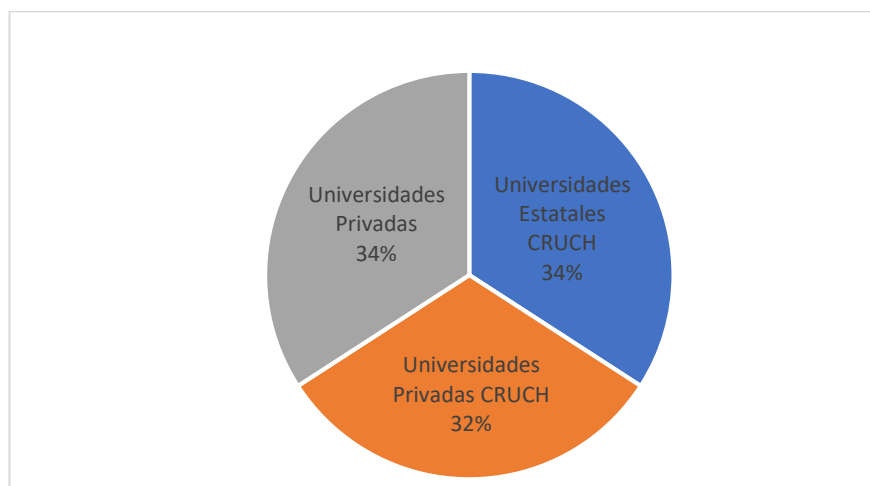


Figura 20: Porcentaje de carreras por tipo de universidad. Año 2017.
Fuente: Elaboración propia con antecedentes del SIES. Ministerio de Educación.

⁹⁷ Entre las que se encontraban: las universidades de: Chile, Técnica del Estado, Pontificia Universidad Católica de Chile, de Concepción, Técnica Federico Santa María, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Austral y Católica del Norte.

⁹⁸ El Consejo de Rectores de las Universidades Chilenas (CRUCH) es un organismo colegiado, de derecho público y con personalidad jurídica, que reúne a los rectores de veintisiete universidades chilenas, públicas y privadas, que tiene por función general la coordinación de la labor universitaria del país.

⁹⁹ <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1080237>

5.3.1 Matrícula anual

Alumnos matriculados en primer año de ingeniería civil

En 2018 se matricularon en primer año de universidad, en carreras de ingeniería civil de 10 a 12 semestres de duración, un total de 14.678 estudiantes. Estos se distribuyeron en las áreas de tecnologías según la clasificación OCDE que se indican en la tabla 5. En el Anexo N° 3, se muestra la matrícula por carreras.

Área de tecnología según OCDE ¹⁰⁰	Total
Ciencias	2.361
Informática	2.225
Matemáticas y Estadísticas	136
Ingeniería, Industria y Construcción	12.304
Arquitectura y Construcción	606
Industria y Producción	5.667
Ingeniería y Profesiones Afines	6.031
Servicios	22
Servicios de Seguridad	22
Total	14.687

Tabla 5: Alumnos matriculados en 1er. año, por área de tecnología OCDE. Año 2018
Fuente: Elaboración propia con antecedentes del SIES. Ministerio de Educación.

Brecha de género según clasificación OCDE

Del total de alumnos matriculados en primer año, 10.958 (74,6%) corresponden a hombres y 3.729 (25,4%) a mujeres, que se distribuyen en las áreas de tecnologías, según la clasificación OCDE, que se muestra en la figura 21.

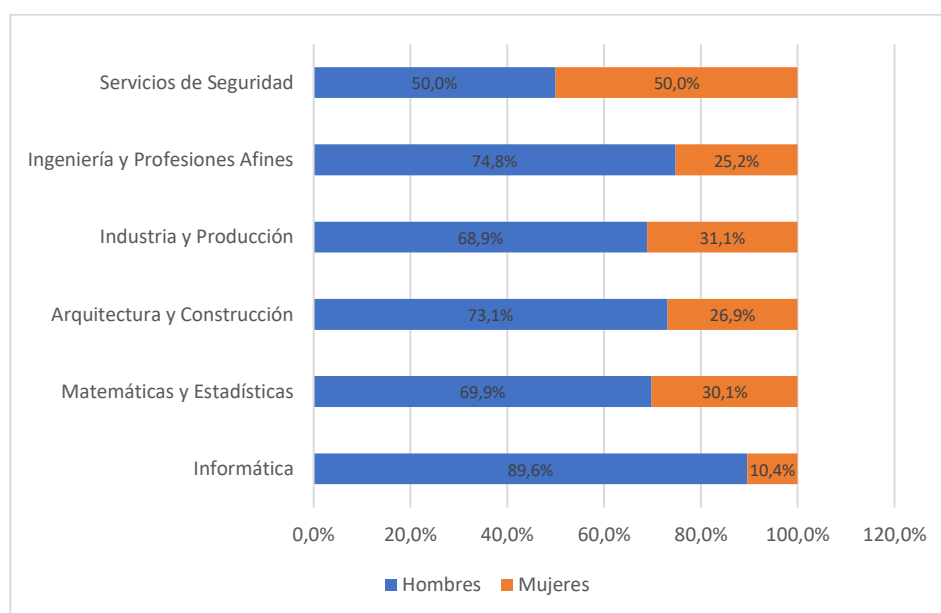


Figura 21: Distribución de alumnos matriculados por área de tecnología. Año 2018.
Fuente: Elaboración propia con antecedentes del SIES. Ministerio de Educación.

¹⁰⁰ En el anexo se indican las carreras asociadas a cada área y sub-área según la clasificación OCDE y el número de alumnos que ingresan a primer año de ingeniería, en carreras de 10 a 12 semestres de duración.

Históricamente la brecha de género, a pesar que aún resulta alta, disminuyó desde el 57,8%, en 2017, hasta el actual de 49,2%, como se muestra en la figura 22.

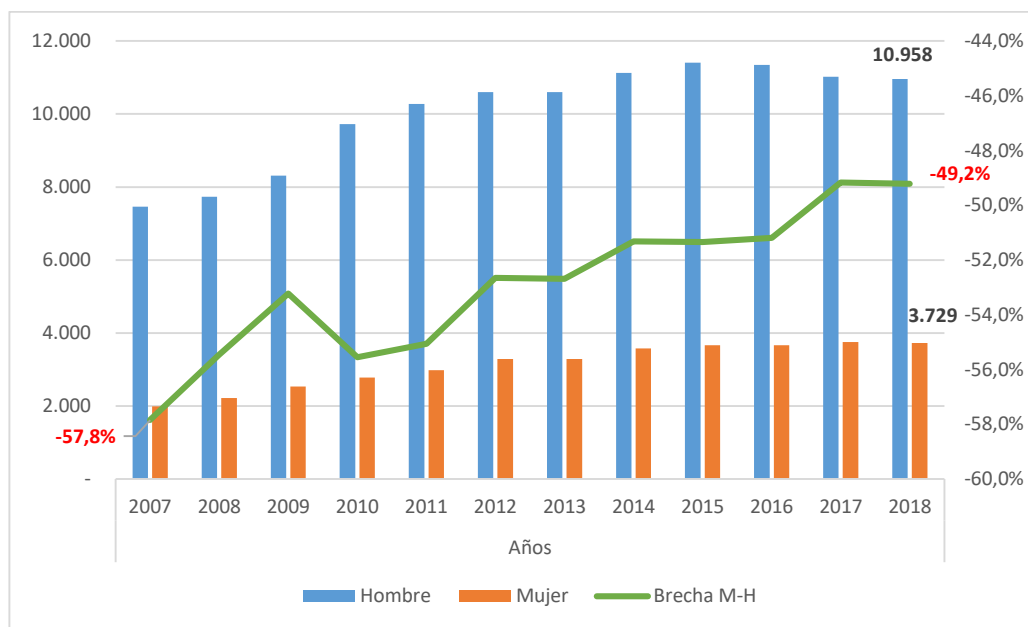


Figura 22: Evolución de brecha de género alumnos matriculados en primer año.
Fuente: Elaboración propia con antecedentes del SIES. Ministerio de Educación.

5.3.2 Titulación anual

En 2017, se titularon en el país 7.189 Ingenieros Civiles¹⁰¹, en alguno de los 290 programas ofrecidos. La mayor parte de ellos estudió en alguna de las universidades privadas del CRUCH. En la figura 23 se muestran los ingenieros titulados en 2017, en cada grupo de universidades.

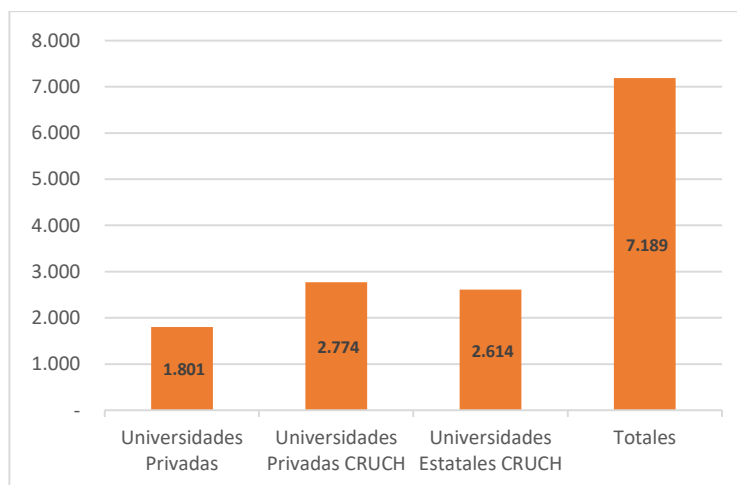


Figura 23: Número de ingenieros civiles titulados por tipo de universidad. Año 2017.
Fuente: Elaboración propia con antecedentes del SIES. Ministerio de Educación.

En el período comprendido entre 2007 y 2017, aumentó de manera importante el número de ingenieros civiles titulados anualmente, desde 3.894 en 2008, hasta 7.189 en 2017, como se muestra en la figura 24.

¹⁰¹ Este valor corresponde al número de titulados que ingresan al sistema de formación luego de terminar su enseñanza media y estudian en régimen presencial, diurno, un mínimo de 10 semestres.

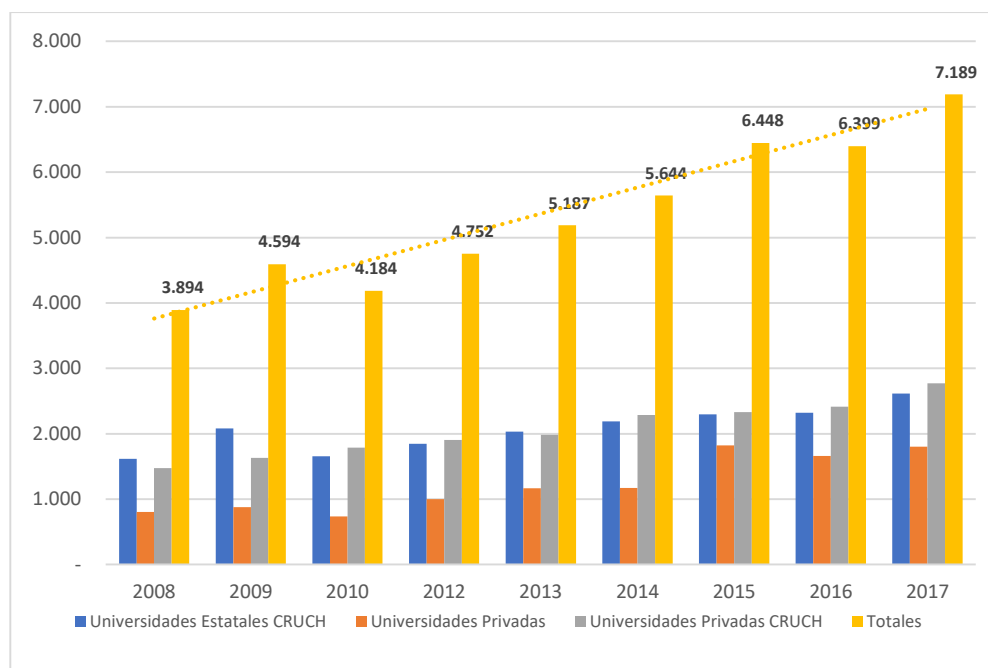


Figura 24: Número de Ingenieros civiles titulados por año. Período 2008 al 2017.
Fuente: Elaboración propia con antecedentes del SIES. Ministerio de Educación.

Universidades con mayor número de titulados

El 80% (5.764) de los ingenieros titulados en 2017, estudió en el 37,5% de las universidades habilitadas para entregar el título de Ingeniero Civil y el 51,6% (3.711) de ellos, se formó en las 8 universidades que concentran el mayor número de egresados, como se muestra en la figura 25. En el Anexo N° 4, se muestra el número de ingenieros titulados por universidad.

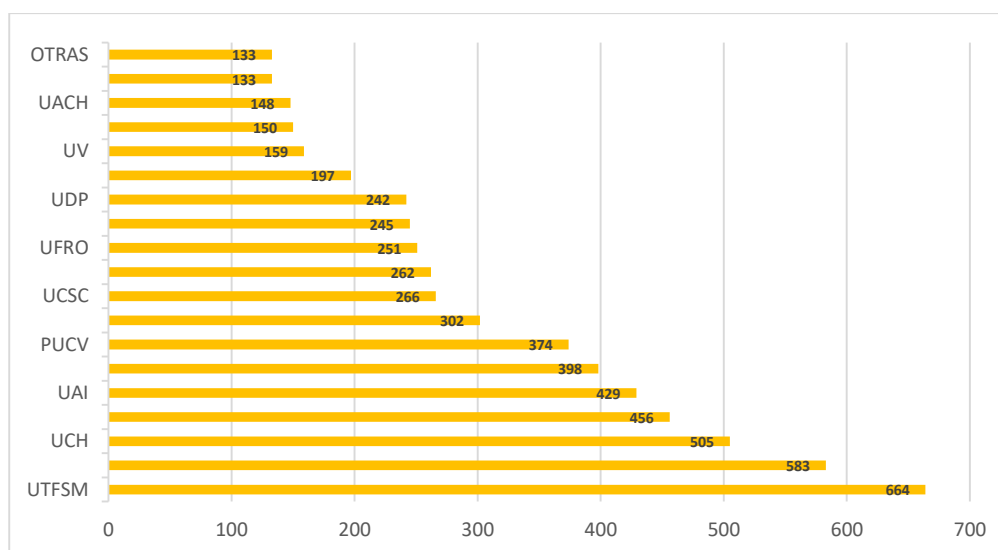


Figura 25: Número de titulados por universidad. Año 2017.
Fuente: Elaboración propia con antecedentes del SIES. Ministerio de Educación.

Brecha de género en ingenieros titulados y su evolución

Entre los titulados en 2017, cerca del 75% fueron hombres y el 25% restante mujeres, observándose una mayor brecha de género en las universidades privadas del CRUCH, como se aprecia en la tabla 6.

Universidad	Hombres	Mujeres	Total	% Hombres	% Mujeres
Universidades Estatales CRUCH	1.957	657	2.614	74,9%	25,1%
Universidades Privadas CRUCH	2.115	659	2.774	76,2%	23,8%
Universidades Privadas	1.342	459	1.801	74,5%	25,5%
Totales	5.414	1.775	7.189	75,2%	24,8%

Tabla 6: Brecha de género ingenieros titulados en el año 2017 por tipo de universidad.

Fuente: Elaboración propia con antecedentes del SIES. Ministerio de Educación.

La tendencia histórica apunta a disminuir, aunque levemente, la brecha de género en las carreras de ingeniería civil, como se muestra en la figura 26.

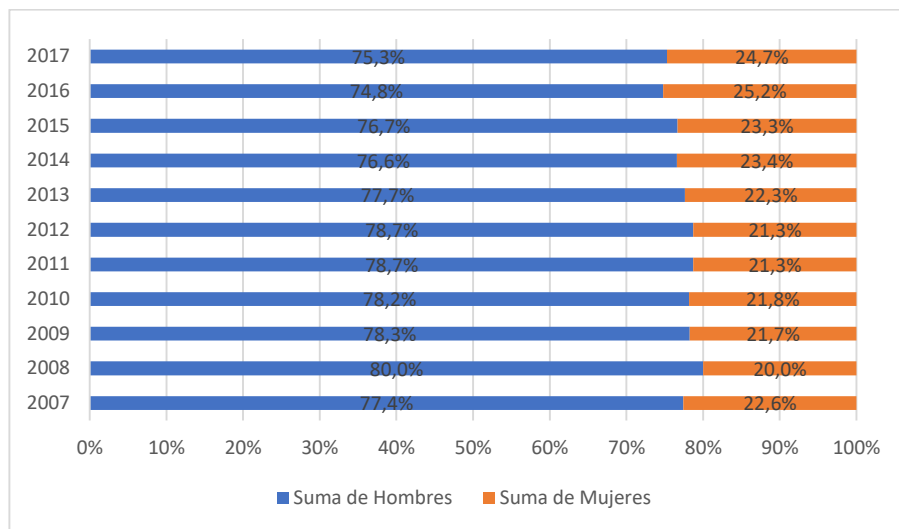


Figura 26: Evolución brecha de género ingenieros titulados período 2007-2017.

Fuente: Elaboración propia con antecedentes SIES. Ministerio de Educación.

Titulados por especialidad y su evolución

El 80% de los ingenieros titulados corresponden a las siguientes especialidades: Industrias, Computación, Mecánica o Minas y el 48,4% de ellos son Ingenieros Civiles Industriales. Esto se muestra en la figura 27.

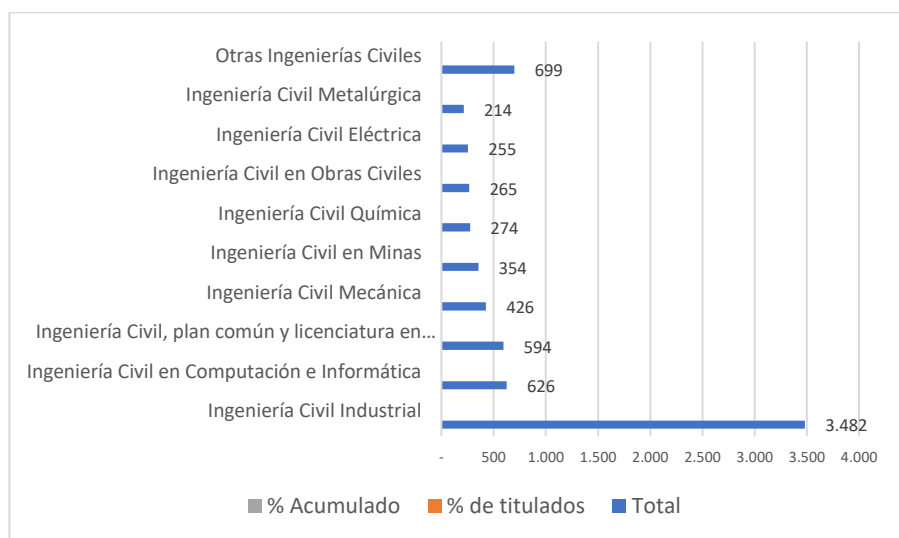


Figura 27: Número de titulados por especialidad. Año 2017.

Fuente: Elaboración propia con antecedentes del SIES. Ministerio de Educación.

El número de titulados por especialidad aumentó en los últimos 10 años. Este incremento resulta más pronunciado en la carrera de Ingeniería Civil Industrial, que pasó de 1.502 graduados en 2007 a 3.482, diez años después. En un futuro en que el dominio de la tecnología se tornará cada vez más relevante, se aprecia una tendencia a formar ingenieros en áreas de gestión, como ingenieros civiles industriales, más que en áreas técnicas, como se aprecia en la figura 28.

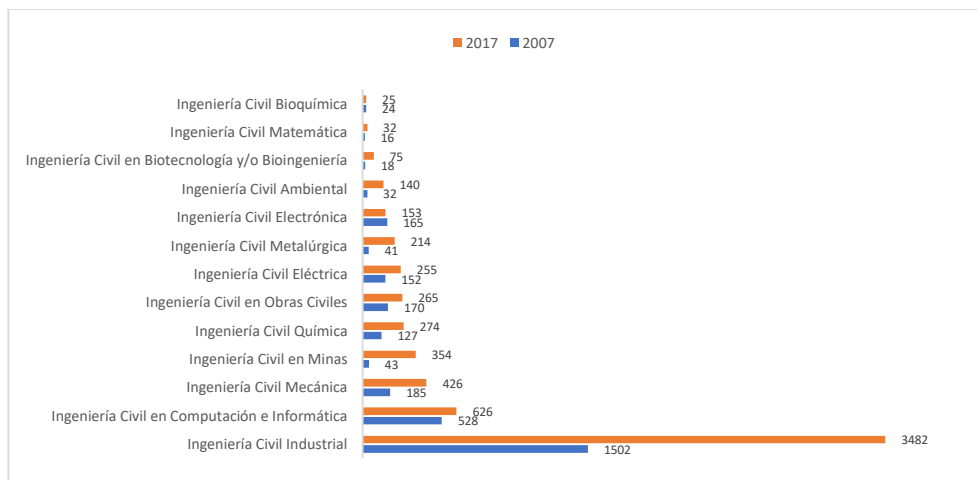


Figura 28: Evolución número de titulados por especialidad. 2007-2017.
Fuente: Elaboración propia con antecedentes del SIES. Ministerio de Educación.

Titulados por región

El 61,4% de los ingenieros titulados en 2017, terminó sus estudios en alguna de las universidades localizadas en la zona centro del país (Región Metropolitana, Valparaíso u O'Higgins), el 25,7% en la zona sur (Maule, Biobío, La Araucanía, Los Lagos, Los Ríos o Magallanes) y el 12,9% en la zona norte (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama o Coquimbo).

Zona	Región	Total	% por región	% por zona
Norte	Arica y Parinacota	85	1,2%	12,9%
	Tarapacá	140	1,9%	
	Antofagasta	313	4,4%	
	Atacama	133	1,9%	
	Coquimbo	258	3,6%	
Centro	Metropolitana	3.257	45,3%	61,4%
	Valparaíso	1.157	16,1%	
	Lib. Gral. B. O'Higgins	1	0,0%	
Sur	Maule	164	2,3%	25,7%
	Biobío	1.154	16,1%	
	La Araucanía	330	4,6%	
	Los Lagos	69	1,0%	
	Los Ríos	113	1,6%	
	Magallanes	15	0,2%	
País	Total	7.189	100%	100,0%

Tabla 7: Titulados por región y ciudad el año 2017.
Fuente: Elaboración propia con antecedentes del SIES. Ministerio de Educación.

5.4. Sistema de formación de postítulo y postgrado

El Sistema de Formación Continua de Ingenieros Civiles (SFCIC) se conforma de 39 universidades que entregan formación de postítulo y/o postgrado. Entre estas distinguimos 22 universidades, públicas y privadas (56,4%) que pertenecen al CRUCH y 17 universidades (43,6%), no adscritas a él. Entre las universidades del CRUCH a su vez, se distinguen 13 universidades estatales que representan el 33,3% y nueve privadas que dan cuenta del 23,1% restante.

En conjunto, el SNFIC ofrece 292 programas de postítulo y postgrado, de los cuales 229 pertenecen a las Universidades del CRUCH y 63 a universidades privadas no adscritas al CRUCH, como se muestra en la figura 29.

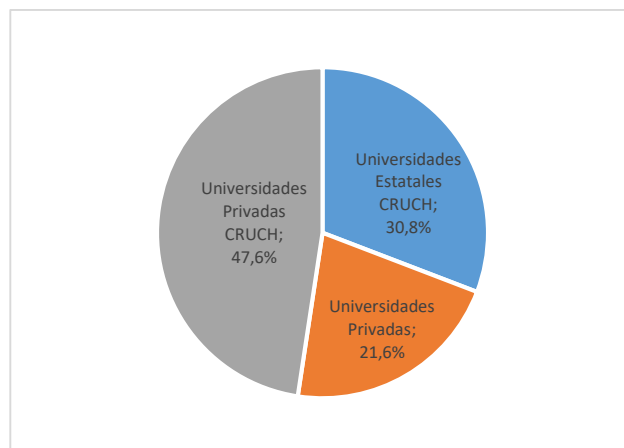


Figura 29: Programas de postítulo o postgrado por tipo de universidad. Año 2018
Fuente: Elaboración propia con antecedentes del SIES. Ministerio de Educación.

Del total de programas ofrecidos, 47 (16,1%) corresponden a Doctorados, 164 (56,2%) a Magister y 81 (27,7%) a postítulo, como se muestra en la figura 30.

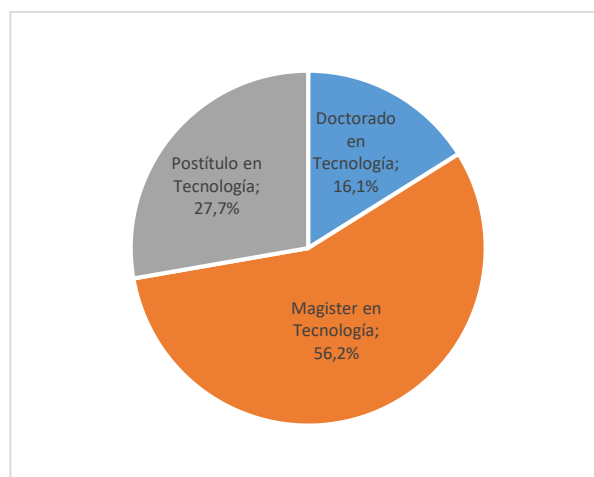


Figura 30: Programas de postítulo o postgrado por tipo de programa. Año 2018
Fuente: Elaboración propia con antecedentes del SIES. Ministerio de Educación.

5.4.1 Matrícula anual

En 2018 se matricularon en primer año, en algunos de los programas de estudio de postgrado y/o educación continua, un total de 2.737 alumnos distribuidos en programas de doctorado, magíster y postítulo, según se muestra en la tabla 8.

Programa	Matriculados en 1er. año
Postgrado	1697
Doctorado en Tecnología	223
Magister en Tecnología	1.474
Postítulo	1.040
Postítulo en Tecnología	1.040
Total	2.737

Tabla 8: Alumnos matriculados en postítulo o postgrado, por tipo de programa. Año 2018.

Fuente: Elaboración propia con antecedentes del SIES. Ministerio de Educación.

Los alumnos matriculados se distribuyeron en las áreas de tecnologías, según la clasificación OCDE, que se indican en la tabla 9:

Área de tecnología según OCDE ¹⁰²	Matriculados en 1er. año
Ciencias	708
Informática	673
Matemáticas y Estadísticas	35
Ingeniería, Industria y Construcción	1.512
Arquitectura y Construcción	194
Industria y Producción	506
Ingeniería y Profesiones Afines	812
Servicios	517
Protección del Medio Ambiente	419
Servicios de Seguridad	98
Total	2.737

Tabla 9: Alumnos matriculados en postítulo o postgrado, por área OCDE de tecnología. 2018.

Fuente: Elaboración propia con antecedentes del SIES. Ministerio de Educación.

De ellos, 1.979 (72,3%) corresponden a hombres y 758 (27,7%) a mujeres, distribuidos en las áreas de tecnologías, según la clasificación OCDE, según se muestra en la figura 31.

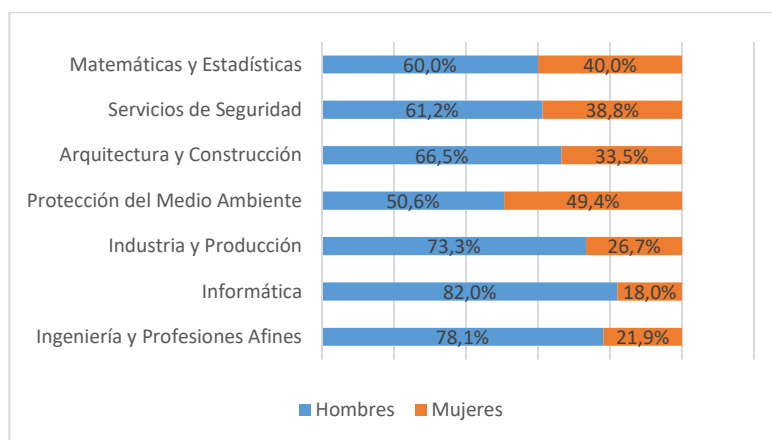


Figura 31: Alumnos matriculados en postítulo o postgrado, por área OCDE y género. Año 2018

Fuente: Elaboración propia con antecedentes del SIES. Ministerio de Educación.

¹⁰² En anexo se indican las carreras asociadas a cada área y sub-área según la clasificación OCDE y el número de alumnos que ingresan a primer año de ingeniería, en carreras de 10 a 12 semestres de duración.

5.4.2 Titulación anual

En 2017, se titularon en el país 2.506 profesionales de algunos de los 292 programas de postítulo y postgrado ofrecidos por las universidades chilenas. La mayor parte estudió en las privadas del CRUCH. En la figura 32 se muestran los profesionales titulados en 2017, en cada grupo de universidades.

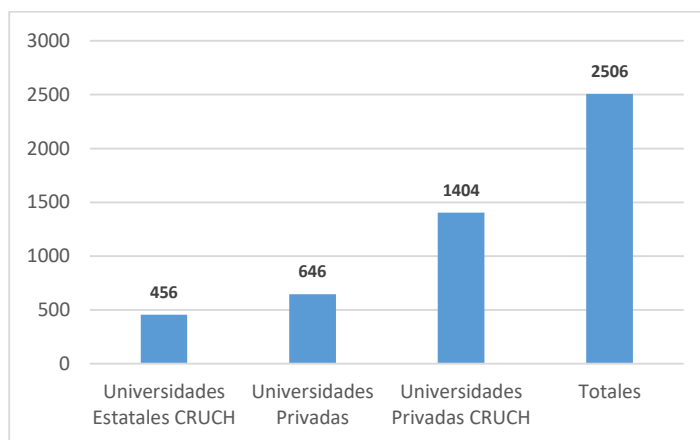


Figura 32: Número de profesionales titulados por tipo de universidad. Año 2017.
Fuente: Elaboración propia con antecedentes del SIES. Ministerio de Educación.

Al desagregar los titulados por tipo de universidad en los diferentes programas: doctorado, magister, diplomado y postítulo, se aprecia que el mayor número corresponde a quienes siguieron programas de magister, luego quienes realizaron programas de diplomado. En relación a las universidades que más profesionales titulan, estas son las privadas del CRUCH, como se muestra en la figura 33.

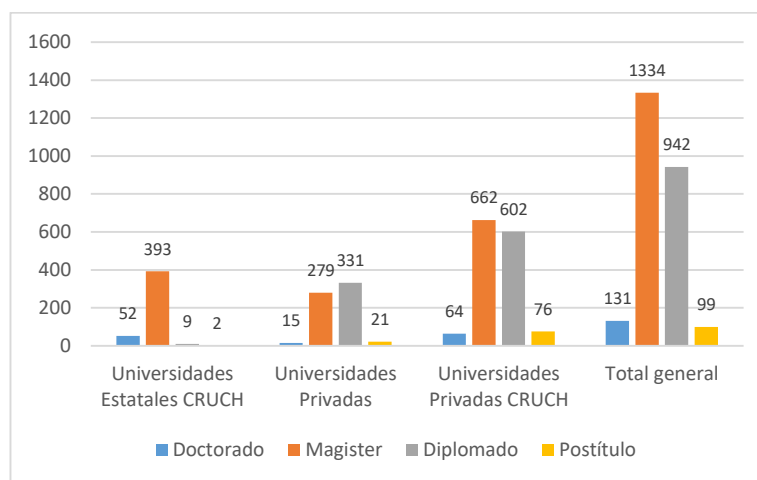


Figura 33: Número de profesionales titulados por programa y tipo de universidad. Año 2017.
Fuente: Elaboración propia con antecedentes del SIES. Ministerio de Educación.

Universidades con mayor número de titulados

El 80% (1.983) de los titulados en 2017, estudió en las 10 universidades habilitadas para entregar el postítulo y el 60,0% (1.484) en las 5 universidades que concentran el mayor número de recibidos.

Brecha de género en ingenieros titulados y su evolución

Entre los titulados en 2017, cerca del 66% corresponde a hombres y el 34% restante a mujeres, observándose una menor brecha de género en las universidades privadas, como se aprecia en la tabla 10.

Tipo de universidad	Hombres	Mujeres	Total	% Hombres	% Mujeres
Universidades Estatales CRUCH	302	154	456	66%	34%
Universidades Privadas CRUCH	955	449	1.404	68%	32%
Universidades Privadas	396	250	646	61%	39%
Total	1.653	853	2.506	66%	34%

Tabla 10: Brecha de género profesionales titulados en el año 2017 por tipo de universidad.
Fuente: Elaboración propia con antecedentes del SIES. Ministerio de Educación.

La tendencia histórica apunta a disminuir, aunque levemente, la brecha de género en los programas de posgrado y postítulo, como se aprecia en la figura 34.

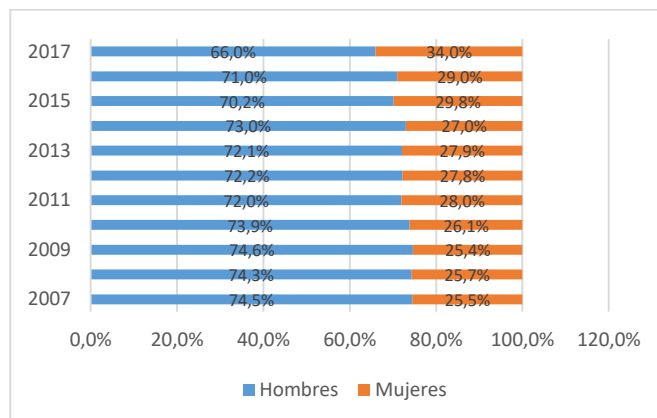


Figura 34: Evolución brecha de género profesionales titulados período 2007-2017.
Fuente: Elaboración propia con antecedentes del SIES. Ministerio de Educación.

Titulados por especialidad y su evolución

De los titulados de los programas de doctorado, 51,9% corresponde a doctorados en ciencias de la ingeniería y 48,1% a especialidades de ingeniería. En estas últimas, el 29% pertenece a química, bioquímica y biotecnología, 21% en áreas de eléctrica, electrónica e informática y 5% en minas y metalurgia.

De los recibidos en los programas de magíster, 31,6% corresponde a ciencias y 68,4% a especialidades de ingeniería. En estas últimas, el 20,8% de los titulados pertenecen a las áreas industrial y de gestión, 19,9% en eléctrica, electrónica e informática, 16,3% en ambiental, solamente 4,3% en minas y metalurgia, y 1,9% en energía, como se aprecia en la figura 35.

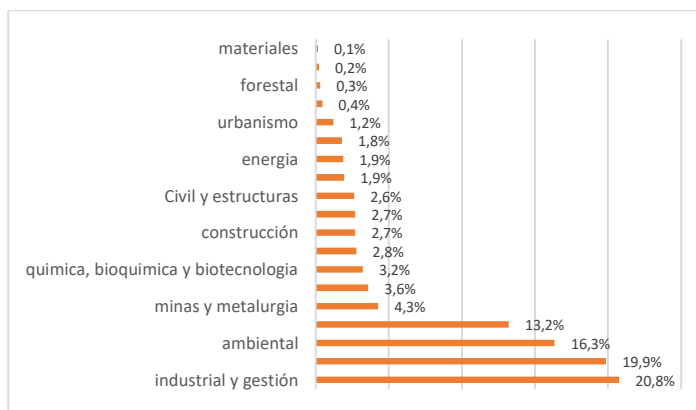


Figura 35: Porcentaje de titulados en programas de magister por área. Año 2017.
Fuente: Elaboración propia con antecedentes del SIES. Ministerio de Educación.

En el período comprendido entre 2007 y 2017, aumentó de manera importante el número de profesionales titulados de algunos de los programas. En 2007 se recibieron en el país 736 profesionales mientras que, en 2017 creció hasta 2.506, como se aprecia en la figura 36.

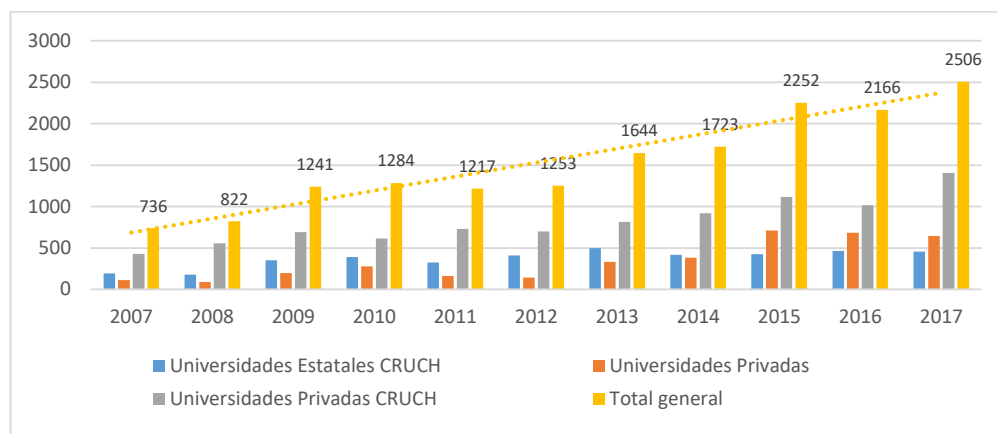


Figura 36: Número de profesionales titulados por año y tipo de universidad. Período 2008 al 2017.
Fuente: Elaboración propia con antecedentes del SIES. Ministerio de Educación.

Titulados por región

La oferta de programas de formación de postítulo y postgrado se encuentra altamente concentrada en la zona central del país. El 76,5% de los profesionales titulados en 2017, terminó sus estudios en universidades localizadas en la Región Metropolitana o Valparaíso. En tanto, el 16,8% se formó en universidades ubicadas en la zona sur (Maule, Biobío, La Araucanía, Los Lagos, Los Ríos o Magallanes) y el 6,7% restante en la zona norte (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama o Coquimbo).

Programa Formación de Capital Humano Avanzado (PFCHA)

La Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT), entidad destinada a impulsar la formación de capital humano avanzado y promover una cultura científica y tecnológica en la población, administra el Programa de Formación de Capital Humano Avanzado (PFCHA). Este se creó en 1988 y representa la principal iniciativa dedicada a administrar becas de postgrado. En su mayor parte, sin embargo, se destina a estudios de postgrado y postítulo en ciencias, ciencias sociales y humanidades, como se muestra en la figura 37.

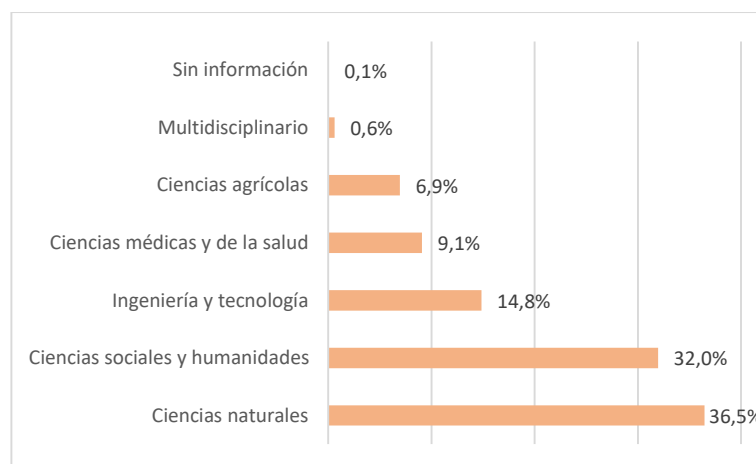


Figura 37: Distribución de becas de postgrado por área. Año 2017.
Referencia: Censo Estadístico CONICYT 2008-2016.

5.5 Aseguramiento de la calidad en la formación

En los últimos años, aumentó notoriamente la oferta de carreras de ingeniería civil, actualmente existe un gran número de universidades que entregan títulos de esta disciplina en diferentes especialidades, sin estrictas medidas de aseguramiento en la calidad de su formación profesional. De esta manera, se corre el riesgo que algunas universidades entreguen un título a personas sin la suficiente preparación.

En un documento reciente del Instituto de Ingenieros de Chile¹⁰³ se indica que: *“El año 2015, había en Chile un total de 44 universidades que ofrecían 199 carreras de ingeniería civil, con un total de 21 especialidades, con 360 programas de estudios y una matrícula de 74.779 alumnos. Al término del año académico 2015 se comprobó que un 25% de las universidades autorizadas no contaban con la acreditación institucional vigente y que gran parte de los programas de estudio de ingeniería civil no contaban con una acreditación que diera garantías sobre las competencias de egreso de los egresados para el ejercicio independiente de la profesión”*.

Esta situación cambió notoriamente en los últimos años. Hoy existe un total de 46 universidades habilitadas para entregar el título profesional de Ingeniero Civil, de las cuales 41 se encuentran acreditadas ante la CNA, equivalente al 89,1% de la oferta institucional y el 99,4% de los alumnos matriculados.

5.5.1 Antecedentes generales de la acreditación

Desde 2006, Chile cuenta con un Sistema de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Terciaria. En éste, la Comisión Nacional de Acreditación (CNA) representa el organismo encargado de verificar y promover la calidad de las universidades, institutos profesionales y centros de formación técnica, y sus carreras.

La acreditación constituye un proceso al que someten las instituciones de Educación Superior y sus programas de pregrado y postgrado, como una forma de contar con una certificación de calidad de sus procesos internos y resultados. La acreditación se otorga en dos líneas: institucional y de carreras.

5.5.2 Acreditación Institucional

La acreditación institucional certifica el cumplimiento del proyecto corporativo y su objeto consiste en *“verificar la existencia de mecanismos eficaces de autorregulación y de aseguramiento de la calidad, así como propender al fortalecimiento de su capacidad de autorregulación y al mejoramiento continuo”*¹⁰⁴. La acreditación se realiza por áreas y plazos por ello, resulta necesario considerar como indicador de calidad en la formación de profesionales, no solamente la acreditación institucional, sino también las áreas en las que una institución se acreditó y el plazo por el cuál ésta fue acreditada. En el Anexo N° 5 se muestran las universidades acreditadas, las áreas y sus plazos.

Áreas de acreditación

El proceso de acreditación institucional considera la evaluación de las instituciones en dos áreas mínimas, comunes a todas las instituciones: gestión institucional y docencia de pregrado. Este contempla también la posibilidad que las instituciones incorporen las áreas de vinculación con el medio, investigación y docencia de postgrado.

De las 41 universidades acreditadas a junio de 2018 que dictan carreras de ingeniería, cuatro validaron solamente las áreas obligatorias: Gestión Institucional y Docencia de Pregrado. Además, 13 universidades

¹⁰³ Instituto de Ingenieros de Chile (2016). Habilitación Profesional de Ingenieros en Chile.

¹⁰⁴ <https://www.cnachile.cl/Paginas/Acreditacion-institucional.aspx>

cuentan adicionalmente con acreditación en Vinculación con el Medio, en tanto que 11 poseen además la validación en Investigación.

Existen finalmente 13 universidades acreditadas tanto en las áreas obligatorias como en las electivas. Esto se muestra en la tabla 11.

Nro. Universidades	Áreas obligatorias		Áreas electivas		
	Gestión institucional	Docencia de pregrado	Vinculación con el medio	Investigación	Docencia de Postgrado
13	✓	✓	✓	✓	✓
11	✓	✓	✓	✓	
13	✓	✓	✓		
4	✓	✓			

Tabla 11: Panorama general de acreditación institucional 2018.

Fuente: Elaboración propia a partir de antecedentes de la Comisión Nacional de Acreditación (CNA).

Plazos de acreditación

La acreditación se realiza por un plazo comprendido entre dos y siete años. Las 41 universidades acreditadas a junio de 2018, poseen esta condición entre 2 y 7 años, como se muestra en la figura 38.

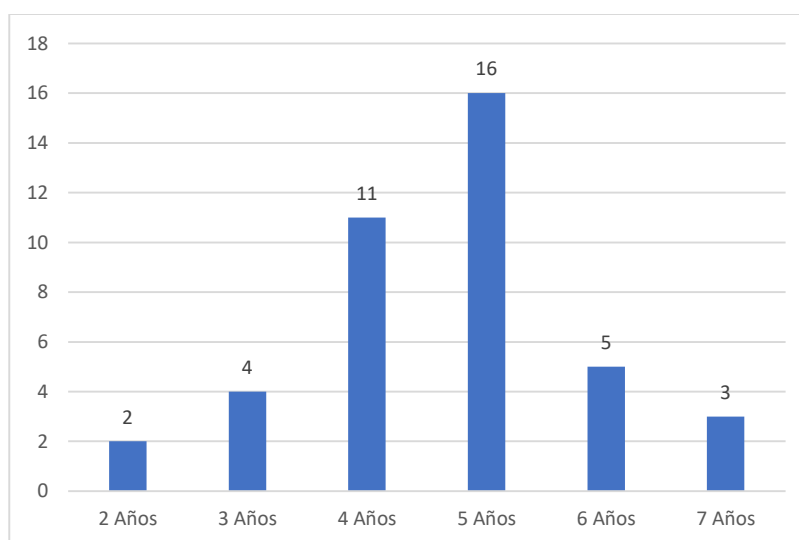


Figura 38: Número de universidades y plazo de acreditación. Año 2018.

Fuente: Elaboración propia a partir de antecedentes de la CNA.

La acreditación se puede categorizar en tres tramos, según su extensión.

- Tramo 1: de 2 a 3 años
- Tramo 2: de 4 a 5 años
- Tramo 3: de 6 a 7 años

De las 41 universidades acreditadas a junio de 2018, que dictan carreras de ingeniería, 14,6% se ubica en el primer tramo, 65,9% en el segundo y 19,5% en el último, como se muestra en la figura 39.

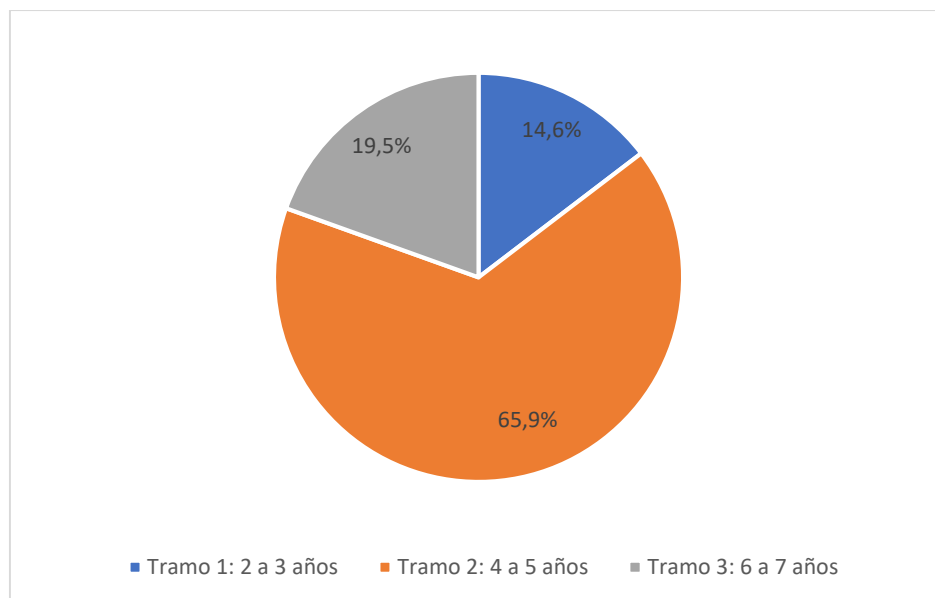


Figura 39: Porcentaje de universidades por tramo de acreditación. Año 2018.
Fuente: Elaboración propia a partir de antecedentes de la CNA.

De los 75.561 estudiantes matriculados en universidades acreditadas a junio de 2018, que dictan carreras de ingeniería, 2,2% se ubica en el primer tramo, 49,9% en el segundo y 47,4% en el último, como se muestra en la figura 40.

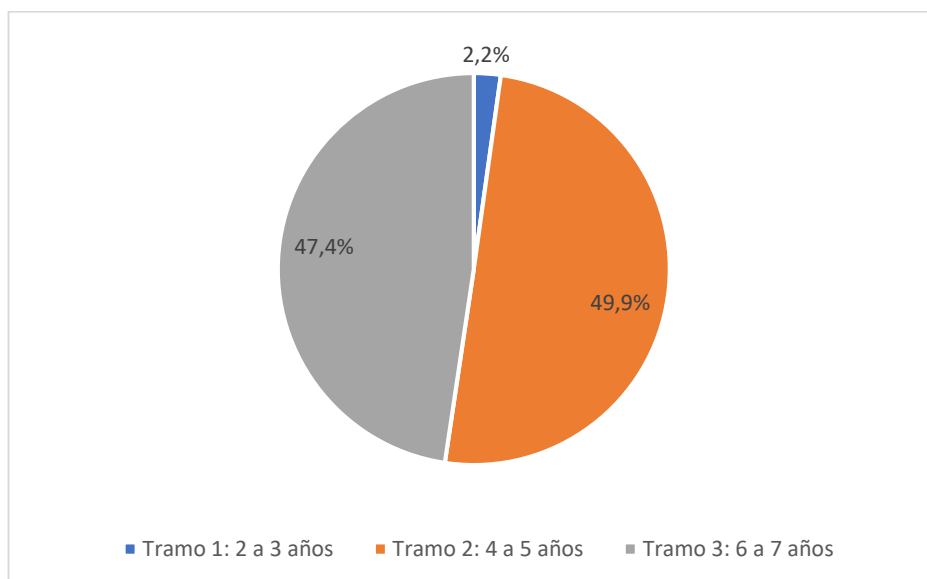


Figura 40: Porcentaje de alumnos por tramo de acreditación. Año 2018.
Fuente: Elaboración propia a partir de antecedentes de la CNA.

5.5.3 Acreditación de carreras

La acreditación de carreras se realiza por instituciones nacionales, extranjeras o internacionales, llamadas agencias acreditadoras. El 29 de mayo de 2018 se publicó en el Diario Oficial de Chile, la nueva Ley de Educación Superior (Ley 21.091). Esta ley crea la Subsecretaría y la Superintendencia de Educación Superior, modifica la composición de la Comisión Nacional de Acreditación (CNA) y la forma en la que se evalúa el aseguramiento de la calidad en las instituciones, carreras y programas de pregrado y postgrado.

Esta ley establece que solamente están obligadas a acreditarse las carreras y programas de estudio que conduzcan a los títulos profesionales de Médico Cirujano, Cirujano Dentista, Profesor de Educación Básica, Profesor de Educación Media, Profesor de Educación Diferencial o Especial y Educador de Párvulos, por lo éste es un procedimiento voluntario para las carreras de ingeniería, las que en ese caso, deberían cumplir con un conjunto de requisitos establecidos por la CNA.¹⁰⁵

En 2018, se matricularon 76.043 alumnos en los 259 programas de pregrado de ingeniería impartidos por las facultades o escuelas de ingeniería habilitada. El porcentaje de programas de pregrado acreditados alcanzó el 97,3% y el de alumnos inscritos en programas acreditados estuvo en 99,5 por ciento.

En relación con los Magister, en 2018 se matricularon 4.038 alumnos en 157 programas impartidos por las facultades o escuelas de ingeniería. El porcentaje de programas de pregrado acreditados alcanzó el 97,7% y el de alumnos en programas acreditados de 98,8 por ciento.

En el caso de Doctorado, en 2018 se matricularon 1.098 alumnos en 47 programas impartidos por las facultades o escuelas de ingeniería. El porcentaje de programas de doctorado acreditados alcanzó el 100%, al igual que en el caso de los alumnos.

¹⁰⁵ <https://www.cnachile.cl/Criterios%20de%20carreras/ingenieria.pdf>

6. CAPACIDADES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

En Chile se han desarrollado en los últimos años políticas públicas que han permitido instalar en el país, cierta capacidad científica y tecnológica a través del desarrollo de centros de investigación de excelencia que mejoren la calidad e impacto de la investigación chilena, centros en áreas prioritarias que responden a un problema de gran relevancia para el país y centros científicos y tecnológicos de excelencia, en los que se realiza investigación básica e investigación aplicada, vinculados a desafíos del país y conectados al mundo y al sector productivo.

Las políticas públicas de tecnología e innovación han permitido instalar en el país, cierta capacidad científica y tecnológica a través del desarrollo de centros de investigación de excelencia, centros en áreas prioritarias y centros científicos y tecnológicos de excelencia.

En este capítulo se mencionan las principales políticas que se han desarrollado y los nuevos centros científicos y tecnológicos mas importantes que se han creado, o que se encontraban en operación y han continuado su labor gracias a ellas.

6.1 Políticas de tecnología e innovación

Entre las diversas políticas públicas de tecnología e innovación que se han desarrollado en el último tiempo destacan las siguientes:

- Entre 1984 y 1990, se estableció el Fondo de Desarrollo Productivo, el primer mecanismo de subsidio directo a la innovación y desarrollo.
- En 1998, surgió la Iniciativa Científica Milenio, como un instrumento para contribuir al fortalecimiento del sistema de investigación y desarrollo.
- Entre 1992 y 1995, se estableció el programa de Ciencia y Tecnología que apoyó las actividades de tecnología e innovación, con fondos del Banco Interamericano de Desarrollo y financiamiento de FONDEF¹⁰⁶ y FONTEC¹⁰⁷.
- Entre 1996 y 2000, se implementó el Programa de Innovación Tecnológica, que sumó nuevos fondos a los anteriores.
- Entre 2001 y 2006 se implementó el Programa de Desarrollo e Innovación Tecnológica que incorporó áreas estratégicas como: calidad, medio ambiente, TIC's y biotecnología. En este período además se creó InnovaChile de Corfo.
- Entre 2010 y 2014, se implementó el programa de innovación del Ministerio de Economía para finalmente definir la Agenda de Productividad Innovación y Crecimiento, establecer una política de prioridades en grandes áreas y selectividad con especialización inteligente.

Estas políticas han hecho posible la instalación u operación de diferentes los centros científicos y tecnológicos que se mencionan a continuación.

¹⁰⁶ Fondef, o Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico, fue creado en el año 1991 con el propósito de contribuir al aumento de la competitividad de la economía nacional y al mejoramiento de la calidad de vida de los chilenos, promoviendo la vinculación entre instituciones de investigación, empresas y otras entidades en la realización de proyectos de investigación aplicada y de desarrollo tecnológico de interés para el sector productivo u orientados al interés público.

¹⁰⁷ Fontec o Fondo Nacional de Desarrollo Tecnológico y productivo. Tiene por objetivo apoyar la innovación tecnológica de las empresas, ya sea en el desarrollo de nuevos productos como en la incorporación de nuevos procesos a la producción de bienes y servicios.

6.1 Centros científicos

6.1.1 Iniciativa Científica Milenio

Esta iniciativa, originalmente del Ministerio de Planificación y traspasada posteriormente al Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, impulsa el desarrollo de centros de investigación de excelencia en el país y busca mejorar la calidad e impacto de la investigación chilena.

Este proyecto se sustenta en cuatro pilares: investigación competitiva a nivel internacional, formación de nuevos científicos, formación y mantención de redes internacionales de colaboración, y promoción del conocimiento hacia la sociedad.

En esta iniciativa se distinguen los Núcleos Milenio, financiados por tres años con la posibilidad que éste sea renovado por un período similar, y los Institutos Milenio que reciben financiamiento por diez años y se evalúan a la mitad de este período.

Los núcleos milenio, en el ámbito de las Ciencias Naturales y Exactas mas cercanas a la ingeniería son:

- Núcleo Milenio de Formación Planetaria
- Núcleo Milenio Trazadores de Metales
- Núcleo Milenio Modelos Estocásticos de Sistemas Complejos y Desordenados
- Núcleo Milenio Física de la Materia Activa
- Núcleo Milenio de Materiales Multifuncionales para la Ciencia Aplicada de Superficies
- Núcleo Milenio El ciclo sísmico a lo largo de zonas de subducción
- Núcleo Milenio Materiales Mecánicos Suaves e Inteligentes
- Núcleo Milenio Centro para el Descubrimiento de Estructuras en Datos Complejos

Los institutos milenio, en el ámbito de las Ciencias Naturales y Exactas, mas relacionadas con ingeniería son:

- Instituto Milenio de Astrofísica
- Instituto Milenio de Investigación en Óptica
- Instituto Milenio de Investigación sobre los Fundamentos de los Datos

6.1.2 Centros Fondap

El Programa FONDAP impulsa el financiamiento y formación de instituciones que jerarquicen y respondan un problema de gran relevancia para el país o una oportunidad especial, donde el foco, estructura y tamaño de estos centros establezcan una investigación científica que supere los alcances de otros estudios provenientes de fuentes convencionales de financiamiento.

Los centros que se encuentran en operación, mas relacionados con ingeniería son:

- Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y Minería (CRHIAM)
- Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2
- Centro Nacional de Investigación para la Gestión Integrada de los Desastres Naturales (CIGIDEN)
- Centro para la Investigación en Energía Solar (SERC-Chile)
- Centro para el Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS)
- Centro de Excelencia en Geotermia de Los Andes (CEGA)

6.1.3 Centros científicos y tecnológicos de excelencia

Como resultado de una propuesta del Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad (CNIC), en 2006, el Gobierno inició el Programa de Financiamiento Basal para Centros Científicos y Tecnológicos de Excelencia.

Este programa, dependiente de CONICYT, cuenta con un objetivo principal: *“potenciar el desarrollo económico de Chile a través de un financiamiento substancial y de largo plazo de grupos interdisciplinarios de investigación y desarrollo, alojados primordialmente en universidades chilenas, en los que confluyan: investigación básica de excelencia e investigación aplicada, vinculados a desafíos del país y conectados al mundo y al sector productivo”*¹⁰⁸. Así, se asegura el financiamiento de base de institutos y centros de investigación por un plazo de cinco años, facilitando el desarrollo e implementación de programas de investigación.

Durante los concursos realizados en 2007, 2008 y 2013, el Estado apoyó el desarrollo de 17 centros de investigación básica de excelencia e investigación aplicada, vinculados a los desafíos del país. Los centros que recibieron apoyo se muestran en las tablas 12, 13 y 14. En el Anexo N° 6, se entregan mayores antecedentes de las actividades que realiza cada uno de ellos.

Nro.	Centro	Web	Institución
1	Centro de Estudios Científicos	http://www.cecs.cl	Centro de Estudios Científicos
2	Centro de Modelamiento Matemático	http://www.cmm.uchile.cl	Universidad de Chile
3	Centro de Excelencia en Astrofísica y Tecnologías Afines	http://www.cata.cl	Universidad de Chile
4	Centro de Envejecimiento y Regeneración	http://www.carechileuc.cl	Pontificia Universidad Católica de Chile
5	Fundación Ciencia para la Vida	http://www.cienciavida.cl	Fundación Ciencia para la Vida
6	Corporación Instituto de Ecología y Biodiversidad	http://www.ieb-chile.cl	Corporación Instituto de Ecología y Biodiversidad
7	Unidad de Desarrollo Tecnológico de la Universidad de Concepción	http://www.udt.cl	Universidad de Concepción

Tabla 12: Centros científicos y tecnológicos asignados concurso año 2007.

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes de CONICYT.

Nro.	Centro	Web	Institución
1	Centro para el desarrollo de la Nanociencia y Nanotecnología	http://www.cedenna.cl	Universidad de Santiago de Chile
2	Centro de tecnología para la Minería	http://www.ctm.uchile.cl/	Universidad de Chile
3	Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería	http://www.sistemasdeingenieria.cl	Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería
4	Centro científico tecnológico de Valparaíso	http://www.cctval.usm.cl/	Universidad Técnica Federico Santa María
5	Centro de óptica y Fotónica	http://www.cefop.cl/	Universidad de Concepción

Tabla 13: Centros científicos y tecnológicos asignados concurso año 2008.

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes de CONICYT.

¹⁰⁸ <http://www.conicyt.cl/pia/sobre-pia/lineas-accion/centros-cientificos-y-tecnologicos-de-excelencia-programa-de-financiamiento-basal/>

Nro.	Centro	Web	Institución
1	Centro Avanzado de Ing. Eléctrica y Electrónica	http://www.ac3e.cl	Universidad Técnica Federico Santa María
2	Centro de Ecología Aplicada y Sustentabilidad	http://www.capes.cl	Pontificia Universidad Católica de Chile
3	Centro de Biotecnología y Bioingeniería	http://www.cebib.cl	Universidad de Chile

Tabla 14: Centros científicos y tecnológicos asignados concurso año 2013.

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes de CONICYT.

6.2 Capacidades tecnológicas habilitantes para innovación y bienes públicos

El Estado de Chile estableció una estrategia para “*crear y/o fortalecer la infraestructura tecnológica y de capital humano avanzado que atendiera la demanda por innovación de las empresas para la creación de nuevos productos o servicios de alto valor y potencial de mercado*”¹⁰⁹ mediante la instalación en el país de 12 centros de excelencia internacional y 7 centros tecnológicos en focos prioritarios.

6.2.1 Centros de excelencia internacional

Entre 2009 y 2013, Corfo realizó tres convocatorias a concurso a través del Programa de Atracción de Centros de Excelencia Internacional, por un costo total de US\$ 360 millones, en un período de 12 años. El Estado aportó aproximadamente US\$ 130,6 millones¹¹⁰. Como resultado de estos llamados, se instalaron en el país 12 Centros de Excelencia Internacional, de los cuales 11 continúan en operación, 8 Centros Institucionales y 4 Centros Corporativos. Los centros de excelencia y el foco de sus actividades se indican en las tablas 15 y 16. En el Anexo N° 7 se entregan mayores antecedentes.

Centro	Procedencia	Foco
CEN Leitat Chile ¹¹¹	España	Nanotecnologías
CSIRO Chile ¹¹²	Australia	Industria minera
Fraunhofer Chile Research - Center for Systems Biotechnology (FRC-CSB) ¹¹³	Alemania	Biotecnología de sistemas
Fraunhofer Chile Research - Center for Solar Energy Technologies ¹¹⁴	Alemania	Energía solar
INRIA Chile ¹¹⁵	Francia	Tecnologías de información
MERIC - Marine Energy Research and Investigation Centre ¹¹⁶	Italia-Francia	Energía marina
Sustainable Minerals Institute (SMI) ¹¹⁷	Australia	Industria minera
UC Davis Chile ¹¹⁸	EE. UU.	Industria agrícola y alimentaria

Tabla 15: Centros institucionales de excelencia internacional

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes de Corfo.

¹⁰⁹ www.corfo.cl

¹¹⁰ <http://www.mch.cl/reportajes/centros-excelencia-internacional-la-meta-impulsar-la-investigacion-desarrollo/>

¹¹¹ <http://fundacionleitat.cl/>

¹¹² <https://www.csiro.au/es-CL/Research/Mining-manufacturing/CSIRO-Chile>

¹¹³ <https://www.fraunhofer.cl/es/frcsb.html>

¹¹⁴ <https://www.fraunhofer.cl/en/cset.html>

¹¹⁵ <http://inria.cl/>

¹¹⁶ <https://www.meric.cl/>

¹¹⁷ <http://www.smiicechile.cl/smi-ice-chile/>

¹¹⁸ <http://www.ucdavischile.org/>

Centro	Ámbito de acción
Centro de Excelencia en Medicina de Precisión (CEMP) ¹¹⁹	Investigación en medicina de precisión y validación de nuevas tecnologías de diagnóstico, más sensibles y menos invasivas.
Emerson Center of Excellence ¹²⁰	Investigación aplicada y desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas de automatización para procesos de la industria minera.
Laborelec Chile SpA ¹²¹	Investigación tecnológica en el campo de la energía eléctrica.
Telefónica Investigación y Desarrollo Chile (CID) ¹²²	Investigación y desarrollo enfocado en tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) con aplicación a nivel industrial y de las personas.

Tabla 16: Centros corporativos de excelencia internacional

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes de Corfo.

En una evaluación de 2017, a “seis años de la instalación del primer centro y a dos años del último, para Corfo ya fue posible identificar algunos resultados intermedios relevantes, tales como: más de 80 investigadores con grado de magíster o doctor contratados, sobre 115 acuerdos de I+D con la industria, más de 300 publicaciones científicas y doce tecnologías comercializadas a través de licencias”¹²³.

¹¹⁹ <https://www.pfizer.cl/>

¹²⁰ <https://www.emerson.com/es-mx/automation>

¹²¹ <https://www.laborelec.be/ENG/contact/office-chile/laborelec-office-chile-spa-spanish/>

¹²² <http://www.tidchile.cl/>

¹²³ <http://www.mch.cl/reportajes/centros-excelencia-internacional-la-meta-impulsar-la-investigacion-desarrollo/>

6.2.2 Centros tecnológicos en focos prioritarios

Tras la instalación de centros de excelencia internacional, el Estado de Chile desarrolló un programa para crear y/o fortalecer infraestructura tecnológica y capital humano avanzado que activara la demanda por innovación en las empresas.

Entre 2015 y 2017, se instalaron en total 7 Centros Tecnológicos cuyos focos prioritarios se muestran en la tabla 17. En el Anexo N° 8 se entregan mayores antecedentes de ellos.

Centro	Sector	Objeto
CETA - Centro tecnológico para la innovación alimentaria ¹²⁴	Alimentos	Fortalecer las capacidades tecnológicas y empresariales en materia de producción de alimentos saludables, dinamizando el proceso de generación de productos de alto valor en la industria, mediante el desarrollo y escalamiento comercial de nuevos ingredientes y alimentos saludables.
AquaPacífico ¹²⁵ - Centro de innovación acuícola	Pesca y acuicultura	Fomentar la acuicultura de pequeña escala, mediante la implementación de una plataforma científico-tecnológica de vanguardia, con el fin de generar procesos de investigación y desarrollo innovadores para incrementar la demanda y transferencia de tecnología acuícola sostenible.
CENS – Centro nacional en sistemas de información en salud ¹²⁶	Salud	Generar un sistema de salud que mejore la atención y la calidad de vida de los pacientes, a través de la adopción de estándares consensuados de interoperabilidad y trabajo colaborativo. Formación y perfeccionamiento de profesionales dedicados a tecnología y salud. Certificación y validación de softwares para nuevos desarrollos y vigilancia tecnológica.
CTEC – Centro tecnológico para la innovación en construcción ¹²⁷	Construcción	Contribuir al proceso de transformación de la industria de la construcción nacional como referente internacional, aportando en la dinamización de demanda y en la transferencia de tecnología aplicable para mejorar la productividad y sustentabilidad del sector.
CIPYCS - Centro interdisciplinario para productividad y construcción sustentable ¹²⁸	Construcción	Proveer servicios, desarrollar innovaciones y generar nuevo conocimiento transferir a través de la difusión tecnológica y así mejorar la productividad y sostenibilidad de la industria de la construcción, además de potenciar la I+D+i.
CNP – Centro Nacional de Pilotaje	Minería	Fortalecer las capacidades de infraestructura, tecnológicas y de recursos humanos en materia de validación de tecnologías para la minería a escala industrial y el desarrollo de capacidades en esta materia, fortalecimiento del capital humano, desarrollo de capacidades de vigilancia tecnológica, desarrollo de clientes y sustentabilidad financiera.
CIPTMIN - Centro Integrado de Pilotaje de Tecnologías Mineras	Minería	Cubrir una brecha existente en los procesos de desarrollo tecnológico e innovación de Chile que involucra la conducción, validación y certificación a través de métodos de diferentes escalas de tecnologías desarrollados en centros de generación de conocimientos, como las Universidades o centros de investigación.

Tabla 17: Centros tecnológicos orientados a innovación.
Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes de Corfo.

¹²⁴ <http://www.cetalimentos.cl/>

¹²⁵ <http://aquapacifico.cl/>

¹²⁶ <http://cens.cl/wp/>

¹²⁷ <https://ctecinnovacion.cl/>

¹²⁸ <http://www.cipyics.cl/>

6.3. Programas tecnológicos estratégicos

Los Programas Tecnológicos Estratégicos apuntan a “impulsar una dinámica asociativa entre universidades, centros tecnológicos, empresas y sector público, que a través de un portafolio de proyectos de I+D aplicada e innovación, aborden el desafío de desarrollar tecnologías críticas para el cierre de brechas, como también de tecnologías de frontera en Sectores estratégicos o Plataformas habilitantes determinados por Corfo”¹²⁹.

Los programas tecnológicos estratégicos implementados se muestran en la tabla 18. En el Anexo N° 9 se entregan mayores antecedentes de ellos.

Programa	Sector	Objeto
IFAN: Ingredientes funcionales y aditivos naturales ¹³⁰	Alimentos	Desarrollar nuevos Ingredientes Funcionales y Aditivos Naturales, con base a materias primas chilenas, que contribuyan a la diversificación y sofisticación de la oferta de la industria de alimentos chilena, potenciando su participación en los mercados globales.
Co-inventa: Envases inteligentes ¹³¹	Alimentos	Determinar reales necesidades y usos prácticos en envases y embalaje de alimentos, siguiendo tres metas: Integrar servicios especializados de investigación, innovación y desarrollo. Crear un portafolio de prototipos de envases activos e inteligentes que responda a las necesidades del mercado y ejecutar un modelo de gestión colaborativa.
Fruticultura zona norte ¹³²	Alimentos	Crear y desarrollar nuevas variedades frutales mediante mejoramiento genético convencional y posteriormente por medio de escalamiento y transferencia, incorporarlas al sector privado para su comercialización.
Fruticultura del Sur ¹³³	Alimentos	Incrementar la I+D+i en el ámbito de la frutícola en Chile, mediante la ejecución articulada de portafolios de proyectos con visión de largo plazo, que disminuyan las brechas en tres ámbitos específicos del desarrollo frutícola para mejorar la productividad del sector y contribuir a diversificar y sofisticar el tejido productivo.
Acuicultura Oceánica	Pesca y acuicultura	Adaptar y/o desarrollar tecnologías habilitantes para el desarrollo de la Acuicultura Oceánica, que exploten esas zonas de cultivo, propiciando la creación y fortalecimiento de proveedores locales, con la finalidad de crear un tejido industrial sofisticado.
Interoperabilidad en minería	Minería	Creación y adopción de estándares internacionales para interoperabilidad minera, programa que impulsa una minería inteligente, digitalizada y colaborativa.
Programa de Monitoreo en Línea de Relaves ¹³⁴	Minería	Desarrollo de un sistema de monitoreo en línea de los depósitos de relaves que transmita, procese y despliegue los indicadores de desempeño de estabilidad física y química de los depósitos de relaves.
Recuperación de valor de relaves ¹³⁵	Minería	Desarrollar capacidades tecnológicas y nuevos proveedores que diversifiquen las ofertas de productos y servicios asociados a la minería y, simultáneamente generen externalidades positivas en materia ambiental.
AtaMoS-TeC - Atacama Module and System Technology Center	Industria solar	Desarrollar tecnologías fotovoltaicas adaptadas a las condiciones particulares de radiación, clima, horarios y temperatura,
Combustión dual Hidrógeno-Diésel en Vehículos y Equipos en Operación Minera	Minería	Adaptar la operación de los camiones de extracción minera hacia una combustión dual, para que utilicen una mezcla de hidrógeno y diésel.
Celdas de combustible de hidrógeno para camiones mineros	Minería	Adaptar los equipos móviles utilizados en minería como cargadores frontales a la electromovilidad, utilizando como combustible celdas de hidrógeno.

Tabla 18: Programas tecnológicos estratégicos.
Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes de Corfo.

¹²⁹ www.corfo.cl

¹³⁰ <http://ifan.cl/>

¹³¹ <https://co-inventa.com/>

¹³² <http://biofrutales.cl/>

¹³³ <https://www.opia.cl/601/w3-article-88599.html>

¹³⁴ <https://fch.cl/proyecto/sustentabilidad/tranque/>

¹³⁵ <http://www.mch.cl/reportajes/recuperacion-valor-desde-relaves-vez-mas-cerca/>

7. OPORTUNIDADES PARA LA INGENIERÍA EN CHILE

En las últimas tres décadas, Chile experimentó un importante desarrollo económico y social debido principalmente a la explotación de sus recursos naturales: minerales, alimentos, celulosa y papel. En este contexto, la ingeniería y sus profesionales jugaron un rol relevante.

Existe consenso en la sociedad de que este modelo, no es sustentable en el largo plazo, y que el país debería avanzar hacia una economía basada en el conocimiento y la innovación. Este modelo de desarrollo lo emplearon otros países como India, país en el que se creó una importante industria global de tecnologías de información que consideró entre otros aspectos, el desarrollo de centros tecnológicos de excelencia y la instalación en el país de grandes empresas internacionales.

“Existe la idea consensuada por la sociedad de que este modelo, no se sustenta en el largo plazo, y que el país debería avanzar hacia una economía basada en el conocimiento, la innovación, la sustentabilidad y la sofisticación y diversificación de productos y servicios que impliquen un crecimiento productivo y mejoren la competitividad de Chile en el mediano y largo plazo”¹³⁶.

En el presente documento se identificaron las grandes transformaciones que ocurren en la sociedad, los desafíos que representan para la ingeniería y sus oportunidades. El cambio acelerado en el mundo y las nuevas necesidades requerirán de una importante base de ingenieros y capacidades científicas y tecnológicas.

En capítulos anteriores se identificó y caracterizó el número de ingenieros que se forman anualmente, tanto en pregrado como en postgrado, sus capacidades técnicas y de gestión, el nivel de formación y especialización. Además, se presentaron las capacidades científicas y tecnológicas del país, desde que se iniciaron las políticas públicas de tecnología e innovación, a principios de los años 80.

En este capítulo se entregan las apreciaciones de los miembros de número de la Academia, utilizando la metodología indicada en el Anexo N° 10, respecto a las oportunidades que esta situación representa para la ingeniería y los ingenieros en Chile.

7.1 Aspectos generales

En las entrevistas y encuestas realizadas surgieron algunos temas generales, que merecen a continuación ser analizados en mayor profundidad.

7.1.1 Rol de los ingenieros

En la sociedad

Es posible identificar actualmente, debido a la aparición de nuevas tecnologías, diferentes ámbitos en los que se desempeñan los ingenieros y sus distintos roles¹³⁷.

- En el ámbito profesional encontramos ingenieros que trabajan como profesionales competentes en las diferentes disciplinas de la ingeniería: química, mecánica, eléctrica, obras civiles, industriales, minas, metalurgia, informática y sistemas; desarrollando obras de infraestructura; fabricando máquinas, dispositivos y sistemas para ser utilizados en industrias o por las personas, ejecutando

¹³⁶ Corfo. Programa Chiletransforma

¹³⁷ Instituto de Ingenieros de Chile (2018). La Formación de Ingenieros Civiles

servicios de ingeniería de proyectos, montajes, mantenimiento o apoyando labores de comercialización y marketing tecnológico.

- En el ámbito de dirección de empresas se desempeñan ingenieros en el desarrollo de nuevas compañías o que asumen liderazgo en entidades o instituciones en que la tecnología y/o la ingeniería cuentan con un rol relevante.
- En innovación y emprendimiento se encuentran ingenieros que diseñan nuevas soluciones para los desafíos de la sociedad con base tecnológica.
- En la investigación y desarrollo se ubican estos profesionales en roles de académicos e investigadores en universidades o en centros de I+D.

En el caso particular de Chile, debido a su formación, los ingenieros asumen roles directivos en empresas e instituciones, fuera del ámbito de la ingeniería.

En la administración pública

Antiguamente un ingeniero en Chile al terminar sus estudios, podía desarrollar su carrera profesional en ministerios como el de Obras Públicas o en empresas del Estado como Endesa, Ferrocarriles del Estado o sanitarias. Hoy, cambió el rol del Estado en relación con el desarrollo de obras y proyectos de ingeniería, por ello esta disciplina ya no posee el relevante papel que tradicionalmente cumplió en la administración pública.

En opinión de algunos de los ingenieros entrevistados, *“el sector público vive actualmente una profunda crisis: existen problemas en la institucionalidad, por la escasez de profesionales calificados en las diferentes reparticiones y escasa rigurosidad en sus análisis”*. La rigidez del sistema público, aunado al bajo presupuesto de los ministerios y otras instituciones del Estado, hacen cada vez más difícil contratar y mantener profesionales de alto nivel, por ello, los cargos públicos cada vez resultan menos atractivos para los ingenieros jóvenes.

Algunos ingenieros entrevistados plantearon además que *“no existe la certeza que el Estado disponga hoy de las capacidades necesarias para desarrollar los grandes proyectos que requiere el país, situación muy diferente a los años ’60 cuando sí contaba con ingenieros capaces de enfrentar los complejos desafíos de aquella época”*. Los últimos casos conocidos de desarrollo de proyectos públicos con grandes errores aumentan esta preocupación.

Se percibe, en opinión de algunos expertos entrevistados, una *“falta de compromiso de los ingenieros con los problemas del país y un desinterés por la política y la función pública”*. Tampoco se aprecia, en opinión de otros, *“un gran interés ni preocupación por temas nacionales, que impliquen compromisos en actividades que vayan más allá de sus legítimos intereses personales y profesionales”*.

7.1.2 La mujer en la ingeniería

La mujer se incorpora cada vez más al ámbito de la ingeniería. En las escuelas de la especialidad se observa un aumento creciente en el porcentaje de alumnas.

Si bien las mujeres poseen una visión diferente de la sociedad y resultan fundamentales para el desarrollo integral de la ingeniería, en lo esencial cuentan con la misma formación y realizan el mismo trabajo que los hombres.

En algunas empresas se observa que la mujer contribuye con una mayor prolijidad en el trabajo técnico y de ingeniería, como asimismo con una mayor empatía con los usuarios de las obras y productos.

Se requiere eliminar la cultura de exclusión, que caracteriza el desarrollo de la ingeniería nacional, especialmente en terreno, cargada de una visión histórica de lo inherentemente femenino.

7.1.3 Decisiones técnicas y políticas en proyectos públicos

Existe consenso entre los expertos entrevistados que las recientes experiencias en el desarrollo de proyectos públicos demostraron la necesidad de que exista una clara separación entre las decisiones técnicas en los proyectos y las políticas. Si bien las últimas grandes obras fracasadas aparecidas en los medios representan casos aislados, constituyen señales de alerta respecto a la forma en que se toman las decisiones públicas en materias de inversión. En opinión de algunos de los entrevistados, *“se precisa transformar el aparato estatal generando, en un trabajo conjunto con otras disciplinas, soluciones a los problemas de la sociedad y cambios profundos en las relaciones interministeriales porque uno de los grandes defectos radica en la falta general de intersectorialidad”*. Por ejemplo, los cuatro ministerios que desarrollan la mayor parte de los proyectos de inversión pública no dialogan: Obras Públicas, Vivienda, Transporte y Energía. Se precisa que trabajen juntos para resolver los graves problemas que se presentan con frecuencia.

7.1.4 Ingenieros y áreas de desarrollo tecnológico

En Chile se forman ingenieros de alto nivel profesional que en general están calificados para necesidades diferentes a las reales, considerando que se importa tecnología y se vende materias primas. Este escenario resulta muy frustrante para ingenieros que, teniendo las capacidades, no aplican sus conocimientos por existir un desarrollo tecnológico limitado en el país.

El encontrarse alejado de los principales centros de consumo resulta una dificultad para que Chile se convierta en un país altamente industrializado. Además, existen áreas específicas en las cuales es difícil que nuestro país desarrolle tecnología, al existir empresas globales que cuentan con gran experiencia. No obstante, resulta necesario que en estos temas los ingenieros chilenos se ubiquen en la frontera del conocimiento para seleccionar al proveedor más indicado.

Dada la gran riqueza del país en materias primas, se puede alcanzar el liderazgo en desarrollo tecnológico en sectores específicos de la economía en que los que participación chilena resulta relevante como: minería, alimentos, acuicultura y forestal. También, se puede liderar en aquellos ámbitos donde Chile presenta condiciones geográficas únicas como: resiliencia frente a desastres, astronomía, energía solar o logística.

7.1.5 Vinculación de la universidad con el medio

La universidad debe vincularse con el medio, para entregar los profesionales que necesita la sociedad. En el modelo tradicional, la universidad definía, de acuerdo con sus criterios, el proceso educacional de sus alumnos y los entregaba al medio. Este mecanismo de vinculación unidireccional cambia hacia un modelo de relación bidireccional, donde las empresas y organizaciones que requieren ingenieros participan de manera más activa en la definición estratégica y en el funcionamiento de la universidad. Por lo tanto, resulta clave analizar la relación entre la universidad y los principales empleadores de sus profesionales: las empresas y el Estado.

Relación universidad empresa

En general, en Chile existe escasa vinculación entre la universidad y la empresa. Si bien hay excepciones y algunas compañías desarrollaron una relación cercana, debido a la naturaleza de sus funciones en general predomina una importante distancia entre ambas. Existen en cada una de estas entidades, visiones sesgadas respecto a las capacidades e intereses de la otra parte. El profesional de una empresa considera que el académico resulta muy teórico y no entrega soluciones adecuadas a la realidad, en tanto que el académico opina que el profesional posee un fuerte pragmatismo y sólo le interesa la urgencia del momento y no la generación de nuevos conocimientos en el largo plazo.

Las empresas y la universidad poseen tiempos distintos, mientras la urgencia resulta permanente en aquellas, la universidad necesita tiempo para adaptarse, generar cambios y plantear soluciones. Hay pocos puentes entre ambos mundos.

En los últimos diez años se generó un mayor acercamiento debido entre otras razones, a los requerimientos de los programas de financiamiento del Estado que exigen la participación de académicos y profesionales de la industria para diseñar prototipos, realizar desarrollos y generar innovación tecnológica.

Esto se aprecia en el cambio de los últimos diez años del Ranking de Leiden¹³⁸ en el índice de publicaciones colaborativas con la industria. En este período, las tres universidades chilenas que aparecen en los primeros 1.000 lugares: Universidad de Chile (UCH), Pontificia Universidad Católica de Chile (PUCCH) y Universidad de Concepción (UDEEC), aumentaron el porcentaje de publicaciones realizadas en colaboración con la industria desde 1,9% promedio, en el período 2000 a 2003, hasta 2,3% entre 2013 a 2016, alcanzando un máximo de 3,0% entre 2009 y 2012, como se muestra en las figuras 41 y 42.

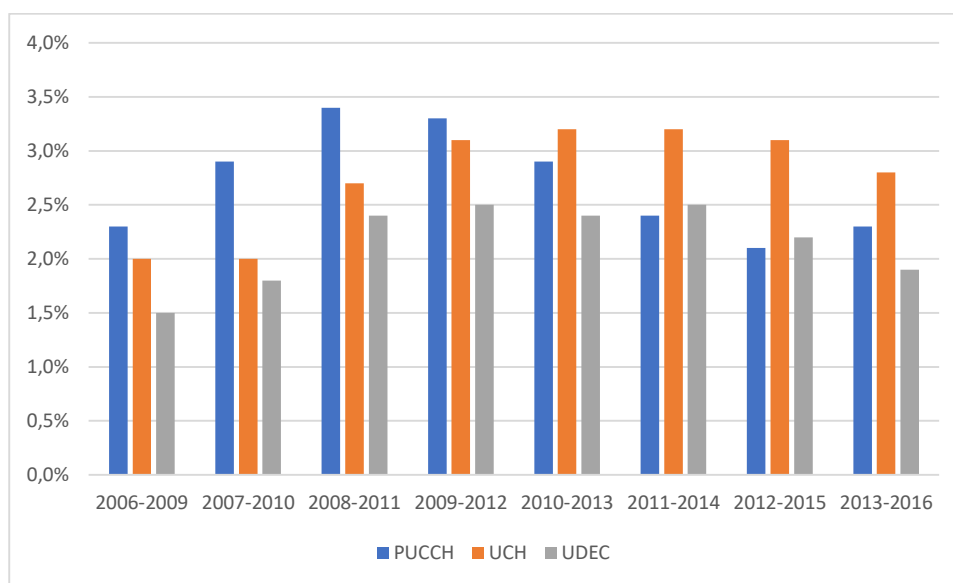


Figura 41: Evolución en ranking de Leiden. universidades chilenas mejor clasificadas.
Fuente: Centre for Science and Technology Studies (2018). CWTS Leiden Ranking 2018¹³⁹.

¹³⁸ Ranking global, que clasifica a las universidades según el número de publicaciones académicas, su volumen e impacto de la citación de éstas. Está basado exclusivamente en indicadores de publicaciones académicas. Es compilado por el centro de estudios científicos y tecnológicos de la Universidad de Leiden. Este ranking además clasifica a las universidades según el tipo de colaboración científica, incluyendo la colaboración con otras instituciones y con la industria.

¹³⁹ Centre for Science and Technology Studies (2018): CWTS Leiden Ranking 2018. DANS. <https://doi.org/10.17026/dans-xpt-2ues>. <http://www.leidenranking.com/ranking/2018/list>, Campo: Ciencias Físicas e Ingeniería, Tipo de indicadores: Colaborativo, Indicador: P,P (industria), PP (industria), Orden: PP (Industria).

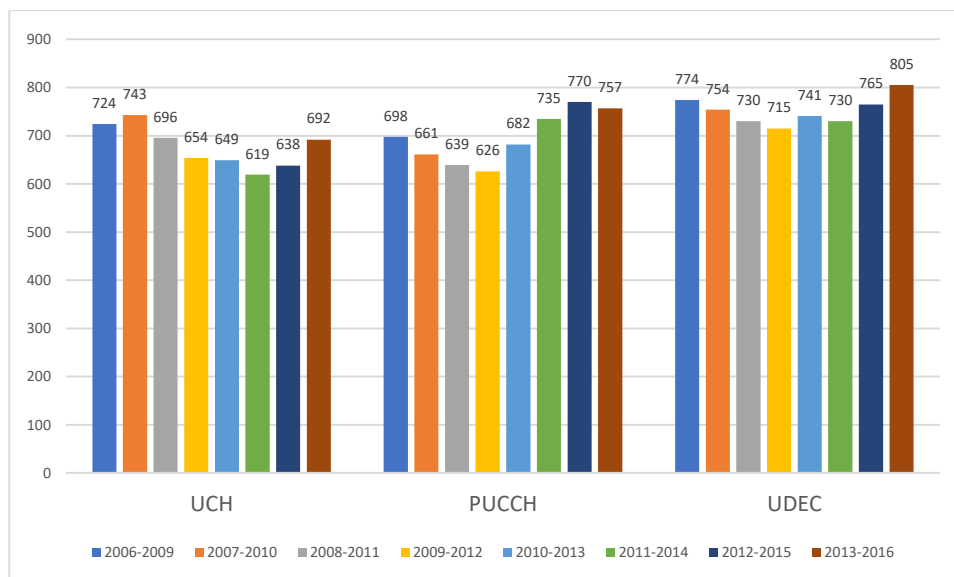


Figura 42: Posiciones en ranking de Leiden, universidades chilenas mejor clasificadas.
Fuente: Centre for Science and Technology Studies (2018). CWTS Leiden Ranking 2018.

Este nivel de vinculación, sin embargo, aún resulta muy bajo en relación con la vinculación en los países desarrollados. La mejor posición alcanzada en este ranking impulsó que una de estas universidades se ubicara en el lugar 619, en el período 2011-2014.

Resulta fundamental, entonces, fortalecer el vínculo universidad-empresa para que los resultados del trabajo que realiza la Academia vayan en beneficio de la sociedad. Esto requiere el compromiso de la empresa, algo que no caracteriza a la cultura nacional, como así ocurre en los países desarrollados, donde aportan recursos a las universidades.

Relación universidad Estado

En otras épocas, existía una relación muy estrecha entre el Estado y la universidad. Así, por ejemplo, un ingeniero que se desempeñaba en el Ministerio de Obras Públicas o en empresa del Estado como ENDESA o FF.CC. también era profesor de pregrado en la universidad, generando el encuentro entre las necesidades de los académicos y las del Estado.

Solía ser común que estudiantes de ingeniería desarrollaran su memoria de título en temas de importancia para el Estado. Hoy la realidad resulta diferente, si bien existen relaciones formales e informales entre las universidades y las instituciones del Estado, estas son menos estrechas que en otras épocas.

Los académicos en la actualidad, normalmente de jornada completa, priorizan la investigación sobre la docencia. Sin embargo, las universidades cuentan también con profesores de jornada parcial, proveniente de instituciones públicas y empresas privadas, dedicados principalmente a los cursos profesionales de especialidad y la dirección de trabajos de títulos, que generan un mayor vínculo con la empresa.

7.2 Oportunidades que aprovechar en Chile

Hay diferentes formas para que la ingeniería chilena participe en el desarrollo de nuevas obras, productos, procesos y organizaciones para aprovechar las oportunidades que se presentan ahora y en el futuro. Existen áreas consolidadas en las que Chile posee ventajas competitivas, como la transformación de recursos naturales y otras derivadas principalmente de la condición geográfica, pero aún incipientes y que necesitan consolidación. En ellas se requiere un esfuerzo para desarrollar productos y servicios, fomentando el uso de tecnología local. En las áreas sin ventajas comparativas, los profesionales chilenos

deberán estar conscientes del estado del arte de la tecnología y de sus capacidades y tener los conocimientos necesarios para adquirir las tecnologías, evitando comprar aquella que no se adapte a las necesidades locales.

En un país pequeño, con un reducido número de ingenieros y en el que la economía se basa en la exportación de recursos naturales, resulta necesario ser muy selectivos al momento de elegir las oportunidades a aprovechar.

Un número importantes de oportunidades se identificaron y el Gobierno de Chile, a través de CORFO, implementa diferentes iniciativas como el Programa Chiletransforma, cuyo desafío consiste en mejorar la competitividad de la economía a través del desarrollo de un grupo de nueve sectores estratégicos: turismo, minería, alimentos, pesca y acuicultura, economía creativa, construcción, logística, industria solar, transformación digital, manufactura avanzada y salud. En estos sectores, la ingeniería participa en mayor o menor grado. En el Anexo 11 se presenta el programa Chiletransforma.

7.3 Transformación de recursos naturales

Chile seguirá dependiendo, al menos en el corto y mediano plazo, de la exportación de sus recursos naturales: minerales, frutas, salmónes, vino, celulosa y papel, entre otros. Estas áreas impulsaron el desarrollo económico del país en los últimos 30 años.

El tamaño de la economía chilena y la gran distancia con los principales centros de consumo dificultan competir con los países industrializados, desarrollando nuevas tecnologías. Sin embargo, como se indicó anteriormente, resulta posible liderar en aquellas áreas con ventajas competitivas, desarrollando servicios y aplicaciones de alto valor para explotar de mejor manera los recursos naturales. En estas industrias existe un importante potencial para incorporar nuevas tecnologías en los sistemas productivos y de apoyo.

Minería

Chile, al poseer el 31% de las reservas de cobre del mundo y representar su producción el 37,6% de la producción global, seguirá como líder global en la explotación de cobre. Esta industria, si es que no aparecen sustitutos cercanos¹⁴⁰, seguirá siendo “La viga maestra y el sueldo de Chile¹⁴¹” por muchos años más y debería convertirse en una fuente de desarrollo de ingeniería y tecnología para la minería. En el programa Chiletransforma se indica que: “La minería tiene las condiciones necesarias para apoyar el surgimiento de un ecosistema robusto de innovación y avanzar de esta manera a una economía capaz de exportar conocimiento”¹⁴².

La ingeniería resuelve diferentes problemas que presenta la minería, un espacio importante para desarrollar e incorporar tecnología. En el norte, a modo de ejemplo, la falta de agua para el proceso de molienda y flotación se resolvió a un alto costo, bombeando directamente agua de mar o agua desalada hasta las plantas de procesamiento de minerales. En la zona central, al encontrarse las minas en valles poblados, existen grandes limitaciones para disponer los relaves. La minería requiere, además, disminuir

¹⁴⁰ En esta visión es preciso identificar también las amenazas. El grafeno, a modo de ejemplo, tiene una conductividad eléctrica igual o superior al cobre, es 5 veces más liviano que el aluminio, 100 veces más resistente que el acero, constituyendo una clara amenaza al desarrollo de Chile. Existen actualmente 144 productores en el mundo y su costo de elaboración, que es la razón por la cual su introducción al mercado ha sido lenta, está descendiendo rápidamente debido a nuevas técnicas de producción.

¹⁴¹ En alusión al libro de Patricio Meller: La viga maestra y el sueldo de Chile, Uqbar editores, 2013.

¹⁴² <http://www.chiletransforma.cl/sector-mineria/>

sus costos operacionales en recursos humanos y energía, lo que representa una oportunidad importante para desarrollar soluciones de automatización y de uso eficiente de energía. Finalmente, los proyectos serán cada vez más sustentables, desarrollando tecnologías amigables con el medio ambiente.

En Chile se instalaron las principales empresas globales de ingeniería para ejecutar proyectos mineros, tanto para Chile como para el extranjero. Esto debido a que los ingenieros chilenos poseen una importante experticia en el diseño de proyectos de plantas mineras para el procesamiento de minerales metálicos: cobre, oro, plata y hierro, como no metálicos: litio, yodo y salitre. Este conocimiento resulta muy valioso y se expande a proyectos en el extranjero, en particular en áreas de vanguardia para Chile, como diseño de tranques de relaves¹⁴³ y plantas concentradoras.

Existe también un importante potencial en el desarrollo de tecnología para la minería global. Hay iniciativas para la formación de proveedores de clase mundial¹⁴⁴ y casos aislados de desarrollos tecnológicos para la industria minera local y que posteriormente se exportaron, como el desarrollo de tecnología para lixiviar cobre utilizando biotecnología¹⁴⁵, la fabricación de tolvas para camiones¹⁴⁶ y el desarrollo de soluciones robóticas para la minería global¹⁴⁷, entre otras.

En los últimos años, disminuyó la participación de cobre refinado en la exportación de este mineral produciéndose la denominada “reprimarización de las materias primas¹⁴⁸”, situación que podría revertirse con las nuevas tendencias de la industria automotriz de reemplazo de motores de combustión interna, por motores híbridos y eléctricos que requieren cobre y litio para las baterías, ambos minerales abundantes en Chile.¹⁴⁹

En 2016 CORFO publicó la Hoja de Ruta de la minería chilena 2035, donde junto con identificar temas relevantes y oportunidades para la industria, estableció líneas de trabajo de investigación desarrollo e innovación colaborativa, junto con las prioridades más urgentes a abordar en el corto, mediano y largo plazo. Una de las principales iniciativas resulta el Programa Nacional de Minería Alta Ley, que cuenta con un presupuesto de MUS\$ 100 y apunta a “desarrollar una industria de bienes y servicios basada en la ciencia y tecnología para abordar los desafíos de productividad, sustentabilidad y seguridad de la industria minera, mediante la generación de un ecosistema robusto de innovación, que promueva la asociatividad entre la industria, los proveedores, el sector científico-académico y el Estado¹⁵⁰”.

Alimentos

En los últimos 30 años, Chile consolidó un modelo exportador de alimentos que cumplió un importante rol en el desarrollo económico y social del país. Sus exportaciones representan actualmente el 23% del total de envíos nacionales, siendo esta industria la segunda actividad económica más importante, después de la minería. El 31% de las empresas existentes en Chile pertenecen al rubro de alimentos y el 23% de los empleos son generados por este sector¹⁵¹.

Chile cuenta hoy con una participación de 1,16% en el mercado mundial de alimentos, ubicándose fuera del grupo de los diez mayores exportadores. Países que poseen similar superficie cultivable por habitante

¹⁴³ Los tranques de relave más grandes del mundo se encuentran en el país y han soportado de buena manera los terremotos más violentos del mundo. Esta es una valiosa experticia reconocida por otros países mineros tales como: Brasil, Canadá y Perú.

¹⁴⁴ <http://desarrolloproveedores.cl/>

¹⁴⁵ https://www.codelco.com/biolixiviacion-tecnologia-para-la-nueva-mineria/prontus_codelco/2011-02-17/092512.html

¹⁴⁶ <http://www.mundomaritimo.cl/noticias/empresa-de-antofagasta-preve-exportar-tolvas-para-mineria-por-us150-millones>

¹⁴⁷ <http://mirs.cl/>

¹⁴⁸ Término que asociado a la mayor importancia que han adquirido los sectores primarios de la economía, en los últimos veinte o treinta años, va en desmedro de la elaboración de productos de mayor valor agregado.

¹⁴⁹ <http://www2.latercera.com/noticia/chile-se-prepara-liderar-la-electromovilidad/#>

¹⁵⁰ <http://www.chiletransforma.cl/2017/08/16/programa-estrategico-mineria-alta-ley/>

¹⁵¹ <http://www.chiletransforma.cl/sector-alimentos/>

que Chile, se ubican en los primeros lugares de ese ranking. Nuestro país posee condiciones fitosanitarias y agroclimáticas muy favorables y disponibilidad de energías renovables que otorgan una ventaja para posicionarlo como líder mundial en alimentos saludables y sustentables. Chile posee, además, condiciones fitosanitarias y agroclimáticas que otorgan una ventaja competitiva importante para ubicarlo como líder en esta materia.

CORFO implementa, a través del Programa Chiletransforma, diferentes iniciativas en el sector de alimentos. Una de ellas, el programa Transforma Alimentos consiste en una propuesta de innovación en la industria alimentaria que busca incorporar tecnologías sustentables para el desarrollo de nuevos productos a partir de las materias primas disponibles. Esta iniciativa pretende posicionar a Chile, dentro de los diez países líderes en la producción de alimentos saludables para el mundo.

Pesca y acuicultura

El sector pesquero, debido a la sobreexplotación de recursos naturales y a la disminución de las capturas industriales y de la pesca artesanal, presenta actualmente algunos problemas de estancamiento productivo. Sin embargo, la industria de salmones, a pesar de los perjuicios ocasionados por el virus ISA y el florecimiento de algas nocivas, se mantiene como un rubro de gran importancia económica para Chile.

CORFO partió, como parte del programa Chiletransforma, con una iniciativa para la pesca y acuicultura que busca *“desarrollar productos y mercados que respondan adecuadamente al escenario actual, favoreciendo la migración de las empresas y actores involucrados desde el histórico modelo de ingresos por volumen al de ingresos por incremento de precios en mercados nicho o de mayor sofisticación”*¹⁵².

En este sector, la innovación y la tecnología cumplen un importante rol ya que entregan una oferta más sofisticada, con productos generados bajo criterios de sustentabilidad.

Forestal

Las condiciones chilenas para el desarrollo de esta industria son únicas, representando una gran oportunidad para el país. Además, como la madera representa una materia prima renovable, prevalecerá sobre otras. Los bosques absorben el CO₂ de la atmósfera y sus desechos se utilizan como biocombustibles.

Como parte de Chiletransforma, CORFO inició el programa de industria de la madera que busca *“agregar valor y soluciones en la industria maderera con el objeto de realizar un cambio de paradigma y dar paso a una fase de desarrollo del sector forestal chileno”*¹⁵³.

En este sector, la ingeniería realizó importantes aportes y seguirá así en el futuro, especialmente en el ámbito de desarrollo de nuevas tecnologías más amigables con el medio ambiente.

7.4 Infraestructura y construcción

Como se indicó anteriormente, el crecimiento de la población mundial generará mayor demanda por nuevas obras de infraestructura y también por bienes y servicios, para que los nuevos habitantes tengan condiciones de vida dignas. Se requerirá construir más obras de infraestructura, rehabilitar las existentes y ejecutar edificaciones, tanto residenciales como no residenciales.

Infraestructura

El gran desarrollo que tuvo la industria exportadora en los últimos 30 años incluyó la construcción de importantes obras de infraestructura pública y privada. La ingeniería chilena realizó grandes aportes en

¹⁵² <http://www.chiletransforma.cl/sector-pesca-y-acuicultura/>

¹⁵³ <http://www.chiletransforma.cl/2017/08/15/industria-de-la-madera/>

diferentes ámbitos de la infraestructura como diseño y construcción de sistemas de generación, transporte y distribución de energía hidráulica y térmica; desarrollo de infraestructura sanitaria; diseño y construcción de sistemas de transporte, salud, educación, telecomunicación y transmisión de datos; edificación urbana, e infraestructura industrial. Todas cuentan con capacidades para aprovechar.

El importante avance de la minería obligó, además al desarrollo de la infraestructura necesaria para explotar los minerales. A modo de ejemplo, la falta de agua en el norte generó la instalación de plantas desalinizadoras y sistemas de impulsión de agua de mar a grandes alturas. Esta capacidad se puede aprovechar en un mundo en el que uno de los principales problemas se centra en la escasez de agua.

Construcción

El mercado de la construcción representa un sector relevante en la economía nacional, tanto en edificación residencial como no residencial. En 2012 el tamaño del mercado de la construcción alcanzó aproximadamente US\$ 29.900 millones de inversión anual, de los cuales un 35% corresponde a edificación residencial y no residencial. Resulta necesario incorporar en este sector la sustentabilidad como un factor adicional de competitividad y disponer de sistemas que realicen una gestión integrada de los proyectos para optimizar el valor de los activos y reducir los costos de operación y mejorar la calidad de vida de las personas.

CORFO, considerando la relevancia de este sector y la necesidad de impulsar la construcción sustentable, inició el programa Estratégico Nacional en Productividad y Construcción Sustentable, Construye 2025¹⁵⁴, que busca *“ser una herramienta orientadora que establezca los principales lineamientos para impulsar la integración del concepto de desarrollo sustentable en el área de la construcción en Chile”*¹⁵⁵.

7.5 Condiciones geográficas únicas

Chile presenta características geográficas y geológicas únicas, como el país más sísmico del mundo, disponer de condiciones climáticas excepcionales para la observación atmosférica terrestre, la tasa de radiación solar más alta del mundo y una geografía extensa que resolvió problemas de logística y gobierno para llegar con bienes y servicios a todos los rincones del país. Estas condiciones han permitido y harán posible el desarrollo de nuevas tecnologías en las que los ingenieros tendrán un rol relevante.

Resiliencia¹⁵⁶ frente a desastres

En las tendencias en vulnerabilidad indicadas anteriormente, se señala que el mundo ingresa en una nueva era de desastres naturales que causan más daño que en el pasado. Chile, por las circunstancias que atravesó, se encuentra a la vanguardia y es referente mundial junto con California y Japón en ingeniería de protección sísmica. Una especialidad reconocida internacionalmente por su calidad.

El país cuenta con profesionales destacados, de gran prestigio internacional, además de respetadas normas de construcción¹⁵⁷. La mejor prueba se observa en los terremotos recientes, como el de febrero de 2010, en que, a pesar de tener una magnitud de 8,8, arrojó muy pocos problemas, a diferencia de otros países donde un sismo de grado 6 genera daños importantes. En el país se desarrolló una importante experticia en diseño sísmico, convirtiéndose en un referente a nivel global. Esta especialidad de ingeniería se desarrolló suficientemente como para exportar sus conocimientos. Existen experiencias exitosas pero puntuales, de empresas chilenas especializadas que prestaron servicios de ingeniería sísmica en

¹⁵⁴ <http://www.chiletransforma.cl/sector-construccion/>

¹⁵⁵ <http://www.chiletransforma.cl/2017/08/12/programa-estrategico-construye-2025/>

¹⁵⁶ Capacidad de las estructuras de absorber perturbaciones debido a los movimientos sísmicos, sin alterar significativamente sus características estructurales y de funcionalidad, pudiendo regresar a su estado original una vez que éstos han cesado.

¹⁵⁷ Chile cuenta con normas únicas a nivel mundial, como la relacionada con estructuras industriales.

diferentes países del mundo y aportando tecnología en torno a la disciplina, como el caso de los sistemas de aislación sísmica.

El cambio climático provocó un incremento de los riesgos de desastres naturales, aumentando su intensidad. Este fenómeno se presentó en tormentas tropicales, aluviones e incendios. La protección contra desastres naturales representa un área transversal a todas las especialidades de ingeniería y solamente desarrollada en profundidad en la ingeniería sísmica. Considerando la experiencia de los profesionales chilenos y las condiciones naturales de nuestro país, la ingeniería nacional debería ser líder en esta especialidad, proveer conocimientos, capacidades de organización y desarrollar tecnologías para enfrentar las amenazas naturales que aumentarán con el cambio climático.

En 2016, se creó el Instituto de Resiliencia frente a Desastres de origen natural, en cuyo diseño colaboraron instituciones de educación superior, académicos y científicos asociados a centros de investigación afines; instituciones públicas, profesionales de las áreas de ingeniería, antropología y sociología, entre otras; representantes del sector privado y de la sociedad civil.

Astronomía

Chile posee un lugar destacado en astronomía pues los principales telescopios del mundo se instalan en el norte del país, debido a sus ventajas climáticas como baja luminosidad nocturna, gran número de noches despejadas y lejanía de las ciudades, entre otras. Existen oportunidades interesantes para la ingeniería en el desarrollo presente y futuro de la astronomía en Chile.

Los Observatorios Astronómicos requieren también sistemas y dispositivos sin gran sofisticación tecnológica, que se diseñarían y fabricarían por empresas especialistas. En Chile existen algunas experiencias en diseño y fabricación de instrumentos y equipos para observación astronómica con niveles intermedios de tecnología.

Un área de reciente aparición resulta la gestión de grandes datos o *big-data*. Los telescopios en construcción actualmente en Chile generarán una gran cantidad de datos, que deberán ser recibidos, almacenados y decodificados, implicando nuevos desafíos tecnológicos para la ingeniería¹⁵⁸.

Este tipo de proyectos requiere habilitar, además, infraestructura para almacenar y distribuir grandes cantidades de estos datos. Por ello, la Red Universitaria Nacional (REUNA) desarrolla la Red Troncal de Fibra Óptica de alta velocidad. Esta iniciativa, utilizada para fines de Investigación y Educación unirá al país entre Arica y Puerto Williams, con conexiones de alta velocidad, integrándola a su vez con redes de Latinoamérica y Europa. En abril de 2018, se inauguró el primer tramo que une La Serena con Santiago, dando el primer paso para la transmisión futura de los datos que generará el Gran Telescopio para Rastreo Sinóptico (LSST), ubicado en Cerro Pachón, en la provincia de Elqui, a partir de 2021¹⁵⁹. En 2018, se prevee implementar el tramo Santiago-Concepción-Temuco, para que en 2019-2020, quede unida La Serena con Arica, Temuco y Puerto Montt, para terminar entre 2020 y 2021, integrándola con la red de Fibra Óptica Austral (FOA) que unirá en 2020 Puerto Montt con Puerto Williams.

A este proyecto se suma la instalación de un Cable de fibra óptica submarino que unirá Portugal con Brasil, creando un puente digital entre Europa y Latinoamérica, evitando que los datos viajen a través de Estados Unidos como sucede actualmente y así aumentar la velocidad a 100 Gbps, 10 veces más que la actual. Este nuevo cable operará en 2020¹⁶⁰.

¹⁵⁸A modo de ejemplo, el observatorio ALMA, genera actualmente un Terabyte (TB) de datos al día. El nuevo observatorio a instalar LSST generará cada noche, 30 TB de datos, lo que es equivalente al volumen de datos que recolectó el Telescopio Espacial Hubble en 20 años.

¹⁵⁹ <http://www.elmostrador.cl/noticias/opinion/2018/04/23/la-astronomia-chilena-esta-rompiendo-paradigmas/>

¹⁶⁰ <http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=495902>

Energía solar

Las tendencias en energía y sustentabilidad indicadas anteriormente señalan que la energía solar promete convertirse en una fuente importante de generación de electricidad.

El norte de Chile posee características únicas: altas temperaturas, los mayores índices de radiación solar del mundo y existencia de un gran espacio disponible para instalar paneles solares. En estas condiciones, el país debería ser el líder mundial en el desarrollo de estas tecnologías y contar con los mejores especialistas. El gran desafío para la ingeniería consiste en desarrollar tecnología propia que elabore aplicaciones específicas para las condiciones climáticas particulares del desierto, a través de iniciativas de I+D+i que aprovechen todo su potencial de generación de energía eléctrica y térmica.

La energía solar permitiría que el desierto sea tan valioso en la producción de energía eléctrica como en minería. Esta energía posee el potencial de convertirse en el motor de la transformación productiva del país.

Como parte de Chiletransforma, CORFO desarrolló el programa de energía solar que *“busca crear una industria local sólida e innovadora que responda a las exigentes condiciones climáticas de zonas desérticas, asegurando la durabilidad y el funcionamiento de estos sistemas”*¹⁶¹.

Hidrógeno como combustible

El hidrógeno se utiliza como combustible en diferentes formas¹⁶²: quemado directamente como gas o en mezcla con otro combustible fósil en un motor de combustión u obtenido a través de electrólisis y almacenado para su uso en una celda de combustible, que convierte al hidrógeno en electricidad para utilizarla por ejemplo en motores eléctricos.

Existen proveedores de tecnologías que producen hidrógeno a través de electrólisis. En el norte de Chile se suma la disponibilidad de radiación solar para realizar el proceso de hidrólisis, que facilitaría utilizar el hidrógeno como un combustible limpio en la minería y producirlo en forma local.

Corfo adjudicó dos proyectos para la Investigación y Desarrollo (I+D) de los usos del hidrógeno en la minería: Combustión dual Hidrógeno-Diésel en Vehículos y Equipos en Operación Minera y Celdas de combustible de hidrógeno para camiones mineros.

Logística

El sector logístico creció fuertemente en los últimos años y se transformó en un aspecto clave en la operación de empresas. En Chile, dada su condición geográfica, la logística resulta fundamental para transportar a precios competitivos bienes y servicios a lugares remotos. Este sector alcanzó una posición de liderazgo en la región latinoamericana, siendo una plataforma fundamental para el desarrollo exportador.

CORFO inició, como parte de Chiletransforma, un programa de logística que apunta a *“disminuir los costos logísticos, mejorar la velocidad y puntualidad, e incorporar tecnologías que permitan una logística sin papeles, coordinada, con trazabilidad y visibilidad de las mercancías, desde el punto de producción hasta el punto de consumo.”*¹⁶³

Un área en que posee Chile una buena formación e importantes centros orientados es el diseño de redes de logística, transporte y modelación de tráfico en ciudades. Esta no requiere grandes inversiones en infraestructura, necesita talento y conocimiento.

¹⁶¹ <http://www.programaenergiasolar.cl/>

¹⁶² <http://www.mch.cl/reportajes/futuro-del-hidrogeno-combustible/>

¹⁶³ <http://www.chiletransforma.cl/sector-logistica/>

7.6 Nuevas tecnologías

El acelerado cambio tecnológico que se produce en el mundo genera oportunidades aprovechables por la ingeniería chilena. Algunas de estas son:

Electromovilidad

Una tendencia mundial en el ámbito del transporte de pasajeros y de carga apunta a la masificación en el uso de la llamada electromovilidad. Esta línea generará un aumento en la demanda de cobre para la fabricación de los componentes de los nuevos automóviles y de litio para la elaboración de sus baterías. Chile posee una posición relevante en ambos mercados, generando una oportunidad cierta de desarrollar una industria a partir de alianzas con empresas internacionales que aporten recursos tecnológicos y financieros y se instalen localmente, aprovechando los recursos naturales y humanos disponibles en el país.

Tecnologías de la información y las comunicaciones

Las grandes oportunidades para la ingeniería se asocian a las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC). Las TIC representan tecnologías transversales en la industria y se encuentran en todas las áreas de la sociedad.

Existen oportunidades en el campo las TIC para el desarrollo de software y aplicaciones donde los ingenieros chilenos asumirían roles claves, en particular en la aplicación de las tecnologías de la información a las industrias en las que el país tiene ventajas.

La ingeniería chilena alcanzó relativo éxito en el ámbito del desarrollo de soluciones informáticas para el gobierno, área en la que nuestros profesionales demostraron capacidad de desarrollar sistemas complejos. Existen algunos ejemplos interesantes al respecto, como el sistema de recaudación de impuestos en 1995 liderado por el Servicio de Impuestos Internos, un proyecto pionero a nivel mundial.

Como parte de Chiletransforma, CORFO ejecuta el programa de transformación digital que apunta a *“contribuir a la productividad y la valorización de las industrias nacionales, con foco en los desafíos productivos de sectores con alto potencial”*¹⁶⁴.

Manufactura avanzada

Uno de los grandes cambios producido en los últimos años resultó la incorporación de nuevas tecnologías en los procesos de manufactura, en la llamada “democratización de la manufactura”. Cambios como la manufactura cognitiva, manufactura aditiva y nuevos materiales mencionados anteriormente, modifican la estructura de los mercados globales, impulsando la fabricación local a bajos costos fuera de los países desarrollados o de Asia.

Los desarrollos en tecnologías de fabricación cambian completamente la industria manufacturera, elaborando nuevos productos en lugares diferentes, impulsando localmente diseños exclusivos, realizados a distancia, modificándose con ello la estructura de costos de la industria y disminuyendo los problemas de logística.

En esta línea, CORFO inició en 2017 el programa de manufactura avanzada¹⁶⁵ que busca contribuir a la renovación de la industria manufacturera, posibilitando la fabricación de productos de altas especificaciones técnicas y servicios de alto valor que establecen nuevos modelos de negocio y que aumenten la productividad de la industria, sus ingresos y el nivel de especialización de sus empleos.

¹⁶⁴ <http://www.chiletransforma.cl/sector-industrias-inteligentes/>

¹⁶⁵ <http://www.chiletransforma.cl/sector-manufactura-avanzada/>

Industrias inteligentes

Las tecnologías digitales poseen un gran potencial para modernizar y transformar los sectores productivos, al incorporar en sus procesos tecnologías de información y comunicación y análisis y procesamiento de datos. Esta tendencia internacional es conocida como “Industrias 4.0¹⁶⁶”. En ella, servicios como la gestión de grandes volúmenes de datos (*Big Data*), computación en la nube (*Cloud Computing*), seguridad y almacenamiento de datos, resultan fundamentales para mejorar los factores productivos de la industria, como la competitividad, el valor agregado de productos y servicios, la excelencia operacional o la exportación.

Salud humana

Aumenta la esperanza de vida de las personas y la población, esto requerirá de nuevas áreas de especialización en salud, aplicada tanto al desarrollo de tecnologías para mejorar la calidad de vida de las personas como a la administración de los sistemas y centros de salud.

El gasto en salud representa hoy cerca del 8% del PIB, cifra que crece. Ese porcentaje corresponde a una demanda que hoy carece de un alto grado de sofisticación tecnológica. El gran avance de la medicina se debe en parte a la ingeniería. Es un área en la que aparecerán nuevas oportunidades de empleo para la ingeniería, como bioingeniería, mecatrónica y robótica aplicada a la salud.

Uno de los aspectos clave para el desarrollo de este sector consiste en contar con estándares de interoperabilidad entre distintas soluciones tecnológicas junto con disponer de una infraestructura digital con bajas latencias y alta disponibilidad que permita el avance de la telemedicina. CORFO inició, como parte de Chiletransforma, el programa de logística. Este tiene como objetivo *“contar con estándares que permitan la interoperabilidad entre distintas soluciones tecnológicas junto con disponer de una infraestructura digital con bajas latencias y alta disponibilidad que permita el avance de la telemedicina.”*¹⁶⁷

7.7 Gestión

Otras áreas relacionadas con las transformaciones tecnológicas resultan de interés para la ingeniería nacional. Estas no presentan grandes barreras de inversión, sólo requieren profesionales con talento. Los cambios demandarán ingenieros en áreas en las que tradicionalmente esta disciplina contó con escasa injerencia. Algunas de ellas se indican a continuación:

Proyectos de inversión

Existe una capacidad para desarrollar proyectos de inversión, no habitual en otros países. A partir de la década del '60, Chile creó una industria independiente de consulta para ejecutar proyectos, iniciativa única en América Latina. Sin embargo, las empresas surgidas en esa época posteriormente se vendieron a firmas internacionales. La demostración más clara de esta capacidad se observa en el incremento en más de 20 veces en la exportación de servicios de ingeniería entre 2000 y 2008, llegando a 287 millones de dólares.

Hay una importante capacidad para desarrollar con éxito proyectos en minería, celulosa y papel, puertos y ferrocarriles metropolitanos, entre otros. Esto facilitaría exportar servicios de ingeniería y,

¹⁶⁶ El concepto Industria 4.0, llamado también industria inteligente, es un concepto asociado a una nueva forma de organizar los medios de producción y expresa la idea que el mundo se encuentra ad portas de una Cuarta Revolución Industrial caracterizada por la interconexión de máquinas y de sistemas y el intercambio de información entre éstas y el medio externo: mercados, clientes, competidores u otras fábricas inteligentes.

¹⁶⁷ <http://www.chiletransforma.cl/sector-salud/>

aprovechando su efecto multiplicador, impulsar el desarrollo de las industrias de la construcción y suministro de equipos, materiales y componentes, entre otras.

Medio ambiente y sustentabilidad

Chile suele ser reconocido como un país que busca el desarrollo sustentable, que realiza un esfuerzo por proteger el medio ambiente, conservar sus recursos naturales y que desarrolló institucionalidad en esta materia.

Se deberían aprovechar las oportunidades en proyectos de reducción de emisiones de CO₂; producción limpia; gestión ambiental; gestión de residuos sólidos, líquidos y gases; remediación de suelos; estudios y declaraciones de impacto ambiental; tratamiento de residuos peligrosos; potabilización de agua y desalinización de agua de mar; tratamiento de lodos orgánicos e inorgánicos, y análisis, medición y monitoreo de agua, suelo y aire.

Modelación

El país cuenta con carreras de ingeniería matemática y centros dedicados a la modelación como el Centro de Modelamiento Matemático de la Universidad de Chile, el Instituto de Sistemas Complejos de Ingeniería, además de los existentes en otras universidades nacionales. Hay una oportunidad interesante en fortalecer la modelación en los ingenieros jóvenes, para mejorar sus diseños y generar soluciones integrales para los proyectos a ejecutar en su vida profesional.

8. VISIÓN DE LA FORMACIÓN ACTUAL DE LOS INGENIEROS CIVILES

El proceso de formación de los ingenieros sufre grandes transformaciones a causa de diferentes iniciativas, como el Programa de Mejoramiento de la Calidad y la Equidad en la Educación Terciaria (MECESUP) y el Programa Ingeniería 2030.

El programa MECESUP, se encuentra en su tercera versión y se orienta a financiar Convenios de Desempeño en el área de la Innovación Académica, mejorar el currículo de pregrado, experimentación e innovación docente, aplicación de Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC) a los procesos de enseñanza aprendizaje, nivelación de competencias básicas y aprendizaje efectivo de estudiantes de poblaciones indígenas y otras minorías.

El Programa Ingeniería 2030, actualmente en su tercer año de ejecución, apunta a apoyar a las universidades de ingeniería civil para que alcancen estándares internacionales a través de la implementación de nuevos planes basados en la investigación aplicada, la innovación, el emprendimiento, el desarrollo y la transferencia de tecnología.

En los Anexos 12 y 13 se presentan mayores antecedentes de ambos programas. En este capítulo se presenta la visión de la Academia respecto al sistema actual de formación de ingenieros civiles.

Las diferentes escuelas de ingeniería destinaron una cantidad importante de recursos y tiempo a la tarea de preguntarse sobre el futuro de esta disciplina y cómo influye en el proceso de formación de los ingenieros en Chile, por ello, algunos de los aspectos mencionados en este capítulo pueden encontrarse en proceso de cambio.

8.1 Principales fortalezas en la formación de los ingenieros

Los ingenieros que culminan sus estudios en universidades públicas o privadas, acreditadas por seis o siete años, presentan fortalezas en los siguientes aspectos.

Ingreso de estudiantes de alto nivel académico

La carrera de Ingeniería Civil en Chile se caracteriza, a diferencia de otros países, por una larga tradición y prestigio, contando con los mejores alumnos de la enseñanza media. Se distingue por ser una carrera bien considerada tanto en la sociedad nacional como en diferentes países.

Sólida formación en ciencias básicas y de la ingeniería

Una de las principales fortalezas de la educación de los ingenieros se observa en su sólida formación en ciencias básicas y ciencias de la ingeniería. Esta base de conocimientos le permite adaptarse a los cambios del entorno y abordar adecuadamente problemas en diferentes ámbitos.

Es así como:

- Las principales escuelas de ingeniería chilenas obtienen una buena ubicación en los rankings internacionales¹⁶⁸.
- Los ingenieros chilenos se destacan por su capacidad de adquirir nuevos conocimientos y enfrentar problemas complejos.

¹⁶⁸ En la última edición del Ranking QS (2018) realizado por la empresa Quacquarelli Symonds, líder en análisis de educación internacional, dos universidades chilenas se ubican en los primeros 200 lugares, en las disciplinas de Ingeniería y Tecnología: la Universidad de Chile (177) y la Pontificia Universidad Católica de Chile (187), en tanto que la Universidad Técnica Federico Santa María se ubica en el puesto 323. En ese mismo ranking se indica que la Universidad de Chile se ubica en el octavo puesto en la carrera de Ingeniería en Minas, siendo esta la posición más alta que una universidad latinoamericana ha logrado en este ranking.

- Hay especialidades, como diseño sísmo resistente y minería que gozan de un alto prestigio internacional.
- Los ingenieros se insertan rápidamente en las grandes empresas internacionales y se destacan en relación a profesionales de otros países.
- Los ex - alumnos que siguen programas de postgrados en el extranjero, así como los ingenieros que se instalaron en otros países, obtienen muy buenos resultados.

Esto se ratifica con los resultados de la encuesta realizada, en que se señala que la principal fortaleza en la formación de los ingenieros se encuentra en su formación en ciencias y ciencias de la ingeniería.

Visión integral y amplia

La formación del ingeniero chileno resulta muy completa, con una visión integral y amplia. Esto lo distingue en el extranjero de otros profesionales con un nivel de conocimiento menor.

Capacidad de análisis y adaptación

El ingeniero chileno destaca por ser un profesional muy analítico con capacidad para cuantificar, opinar con un sustento preciso, pensar en términos racionales, deducir a partir de hechos, interpretar fenómenos y articular miradas coherentemente. Por ello se adapta fácilmente a situaciones nuevas y asimila rápidamente las nuevas tecnologías. Esto facilita considerar los diversos aspectos de los complejos problemas de la ingeniería moderna: urbanísticos, sociológicos y gestión, entre otros.

Autonomía y capacidad de aprender

Una fortaleza a destacar en los ingenieros chilenos se encuentra en su inquietud por aprender y su capacidad de aprendizaje autónomo, que le permite acceder rápido al conocimiento en especial, considerando las facilidades actuales.

Versatilidad

La sólida formación en ciencias básicas, ciencias de la ingeniería y gestión permitió a los ingenieros desempeñarse en distintas áreas. Por ello, hoy se encuentran ingenieros en puestos importantes, en diferentes áreas, de las más diversas empresas donde destacan en áreas técnicas y gestión, cumpliendo un rol principal en el desarrollo empresarial, política, sector público y educación.

8.2 Principales debilidades en la formación de los ingenieros

En la formación de ingenieros se observan las siguientes debilidades.

Bajo nivel de formación en educación media

El nivel de formación de los colegios chilenos resulta deficiente, especialmente en matemática, física y química. Además, a pesar del alto nivel académico de los alumnos de primer año de ingeniería, un alto porcentaje presenta déficit de comprensión lectora. Por otra parte, resulta muy bajo el nivel de dominio del idioma inglés, fundamental para el ingeniero actual, en los alumnos que ingresan a primer año.

Relaciones sociales y trabajo en equipo

En la ingeniería actual resulta imprescindible la consideración de los aspectos sociales y ambientales de los proyectos. Esto resulta particularmente relevante hoy, cuando se observa un conflicto permanente entre quienes desarrollan proyectos y los afectados por ellos. Esto conlleva la capacidad de integrarse a equipos multidisciplinarios.

La capacidad de trabajar en equipo es fundamental en la formación del ingeniero. Al respecto, el proceso formativo resulta muy individualista, provocando una debilidad importante en los egresados.

Distintas escuelas de ingeniería toman medidas al respecto, incentivando el trabajo en equipo, la formación en base a proyectos, la presentación oral y escrita de informes y las relaciones con otros profesionales.

Innovación y emprendimiento

Hay debilidades importantes en la formación de los ingenieros en las áreas de innovación y emprendimiento, a pesar de su adecuada base técnica. Los ingenieros titulados se incorporan rápidamente al mercado laboral con un buen nivel de renta, no existiendo incentivos para emprender, además, el alto castigo social al fracaso en el país y la extensión de la carrera, entre otros factores, conspiran contra el interés de emprender.

Poca preparación para el ejercicio profesional

La formación tradicional del ingeniero chileno se focalizó en un fuerte contenido en ciencias y ciencias de la ingeniería, con poco énfasis en la práctica profesional. Ello significa que necesitan un tiempo para adaptarse al trabajo profesional. A esto se suma una deficiencia en su conocimiento de los estándares y prácticas a nivel nacional e internacional.

Falta de confianza en su actuar

Una debilidad del ingeniero chileno consiste en la falta de personalidad para defender sus convicciones ante los jefes o autoridades tomadores de decisiones. Esto significa que, aun conociendo las deficiencias de un proyecto, se tomen decisiones equivocadas.

8.3 Principales características de la formación

En general, la formación del ingeniero resulta sólida generando profesionales calificados a nivel internacional. Los planes de estudio y métodos educativos resultan producto de una larga tradición que cambia poco y se condiciona en una cultura que, por una parte, da autonomía a las universidades para determinar sus procedimientos y, por otra les exige resultados pertinentes para la sociedad. Como resultado, se obtiene una respuesta de compromiso en que la docencia se considera de menor importancia para los académicos en relación a la investigación, mayormente exigida para ascender en las jerarquías, y a la asistencia técnica, generadora de recursos. Su formación presenta las siguientes características.

8.3.1 Metodología de enseñanza y sistema de evaluación

La metodología de enseñanza y el sistema de evaluación no han cambiado radicalmente. El alumno es aún instruido por un profesor en una sala de clases, bajo un esquema presencial y el sistema de evaluación sigue siendo por controles escritos y exámenes, a diferencia de lo que ocurre en numerosas universidades extranjeras, en las que gran parte de la enseñanza radica en la labor realizada por el alumno fuera del aula, en trabajos de investigación, lectura de documentos, estudios y desarrollo de proyectos y la evaluación es reemplazada por trabajos prácticos, en grupo, que fomentan las habilidades blandas vitales para el futuro profesional y por proyectos.

Rigidez en la formación

La formación en numerosas escuelas de ingeniería resulta sumamente rígida, cada uno de los alumnos que culmina sus estudios en una determinada especialidad posee la misma formación. El estudiante carece de la posibilidad de elegir, dentro de su plan de estudios, los ramos que más le interesen, salvo algunos cursos de formación general. Sin embargo, al enfrentarse al mercado laboral deberá optar entre diferentes posibilidades de desarrollo profesional, algo imposible durante su formación académica. En

algunas escuelas de ingeniería se implementaron programas de *majors* y *minors*, que permiten a los alumnos diseñar su carrera según sus propios intereses.

Formación especializada

La formación se orienta fuertemente a preparar especialistas en las diferentes áreas de la ingeniería, dejando de lado la preparación más general y universal. Hasta hace algunos años, esto representaba lo más indicado, pero hoy el avance tecnológico impulsa a una profesión más multidisciplinaria.

Nivel de exigencia y deserción

El sistema de formación actual de los ingenieros resulta muy exigente en los primeros años de estudio, produciendo gran deserción en varias universidades, no siempre justificable, debido a una menor motivación de los alumnos durante sus estudios y una consiguiente fuga de talentos hacia otras profesiones.

Rol de los profesores

El principal incentivo de los profesores para progresar en las universidades consiste en la publicación de su trabajo de investigación en revistas reconocidas internacionalmente. En este sistema, se destaca el número de publicaciones y las referencias que hagan otros autores de ellas. Los académicos, por lo tanto, dedican parte importante de su tiempo a preparar publicaciones, relegando a un segundo lugar su labor docente.

A pesar de lo anterior, la contratación de académicos a tiempo completo, como en las buenas universidades del mundo, significó una gran mejora en la calidad de formación de los nuevos ingenieros. Estos, la mayoría con grados de doctor en su especialidad, con fuerte dedicación a la investigación, mejoraron la calidad y profundidad de la formación, enriqueciéndola al mismo tiempo con la transferencia tecnológica.

8.3.2 Estructura de las carreras

Las carreras de ingeniería de la mayor parte de las escuelas se estructuran en base a un ciclo de cinco a seis años que considera dos años de ciencias básicas, dos de ciencias de la ingeniería y uno o dos de especialidad.

Tendencias de especialización

La carrera de ingeniería se diseña para que, en los últimos dos años, los alumnos se especialicen en alguna de las áreas de la ingeniería. La tendencia en el último tiempo muestra que gran cantidad de alumnos opta por ingeniería civil industrial, especialidad más cercana a la administración que a las áreas tradicionales de la ingeniería como electrónica, electricidad, mecánica, química u obras civiles. Esta tendencia significa un aporte importante al país, en ámbitos alejados del campo de trabajo más tradicional de los ingenieros, como comercio, banca, seguros, AFP e Isapres, entre otros.

Salidas intermedias

El proceso de formación tradicional de ingenieros no contempla salidas intermedias en que los alumnos elijan seguir estudiando o insertarse en el mundo laboral, adquieran experiencia en la industria y luego vuelvan a estudiar o permanezcan en el mercado laboral, como ocurre en los países desarrollados.

Duración de las carreras y habilitación profesional

En Chile no existe normativa que establezca la duración de la carrera de ingeniería civil. Hoy se observan carreras de Ingeniería Civil de 6, 5,5 y 5 años de duración, mayor a la extensión de carreras similares en el extranjero. Los ingenieros se encuentran en condiciones de ingresar al mercado laboral y aportar sus

conocimientos al cabo de seis años de estudios, en contraste con Estados Unidos o Europa donde se emplea a los 4 años, aunque no ejerza mientras no se acredite.

En las universidades del CRUCH, la mayor parte de las carreras (53,2%), alcanzan una duración de 12 semestres, en tanto en las universidades privadas que no pertenecen al CRUCH, la mayor parte de ellas (53,6%) se extienden por 10 semestres y sólo el 7,1% es de 12 semestres, tal como se ve en la Tabla 19.

RESUMEN	12 SEMESTRES	11 SEMESTRES	10 SEMESTRES	TOTAL
Universidades del CRUCH	99 53,2%	61 32,8%	26 14,0%	186
Universidades Privadas	4 7,1%	22 39,3%	30 53,6%	56
TOTAL	103 42,6%	83 34,3%	56 23,1%	242

Tabla 19: Porcentaje de carreras de ingeniería por número de semestres. Año 2017.
Fuente: Benavente, Raúl, Duración de las Carreras de Ingeniería Civil en Chile¹⁶⁹.

En el marco del programa Ingeniería 2030, las principales escuelas de ingeniería en el país revisan sus programas de estudios y realizan importantes modificaciones en sus contenidos y metodologías de enseñanza, utilizando como referencia las más prestigiosas escuelas de pregrado y postgrado de otros países. La tendencia consiste en formular carreras más cortas, eliminando aspectos irrelevantes en la formación, modernizando la metodología de enseñanza y aprovechando las nuevas tecnologías, para hacerlo en forma más eficiente.

En la Tabla 20 se muestra la evolución del número de semestres de las carreras de ingeniería civil en el país entre 2013 y 2017. Se observa que las carreras “tradicionales” de 12 semestres disminuyeron de 55% a 42,6%, mientras las de 11 semestres aumentaron de 29,7% a 34,3% y las de 10 semestres de 15,3% a 23,1 por ciento.

AÑO	12 Semestres	11 Semestres	10 Semestres	Total Carreras
2013	55,0%	29,7%	15,3%	222
2014	54,0%	29,2%	16,8%	226
2015	53,8%	28,3%	17,9%	223
2016	45,6%	33,8%	20,6%	228
2017	42,6%	34,3%	23,1%	242

Tabla 20: Evolución porcentaje de carreras de ingeniería por número de semestres
Fuente: Benavente, Raúl, Duración de las Carreras de Ingeniería Civil en Chile¹⁷⁰.

Esto no significó una reducción importante en el tiempo destinado a materias de ciencias básicas, como se aprecia en la Tabla 21. Sin embargo, se aprecia una clara diferencia entre las horas dedicadas a estas materias por las universidades del CRUCH y las universidades privadas que no pertenecen al CRUCH.

¹⁶⁹ Innovaciones Educativas en Ingeniería. Actas Segundas Jornadas de Educación en Ingeniería (2017).

¹⁷⁰ Innovaciones Educativas en Ingeniería. Actas Segundas Jornadas de Educación en Ingeniería (2017).

Número de horas lectivas Ciencias Básicas	10 semestres	11 semestres	12 semestres
Universidades del CRUCH	1009	921	1036
Universidades Privadas	835	893	

Tabla 21: Número de horas lectivas de ciencias básicas
Fuente: Benavente, Raúl, Duración de las Carreras de Ingeniería Civil en Chile¹⁷¹.

8.4 Diferencia en la formación entre diferentes universidades

Tradicionalmente, la preparación de ingenieros en Chile correspondió a universidades consolidadas y de prestigio, y los planes de estudio comprendían una sólida formación en ciencias básicas y ciencias de la ingeniería. Esto permitió a los ingenieros civiles desempeñarse adecuadamente en amplios sectores de la economía. Pero a partir de la década de los '80 la institucionalidad en la educación superior cambió, facilitando el desarrollo de universidades privadas no-tradicionales, autorizadas a dar títulos profesionales reconocidos. Con ello se abrió el abanico de ofertas de carreras de ingeniería de diferentes perfiles y calidad.

Actualmente, existen diferencias importantes en la formación que entregan las diferentes universidades, debido al nivel académico de los alumnos, el distinto grado de exigencia de las diferentes escuelas, el perfil del profesional a formar o la calidad de los profesores.

Habrán diferentes perfiles profesionales, dependiendo de los objetivos de su institución formadora, algunas prepararán ingenieros con fuerte capacidad analítica en ciencias básicas y ciencias de la ingeniería, mientras otras con mayor vinculación con la industria, colocarán el énfasis en capacidades gerenciales. La sociedad requiere ingenieros con capacidades diferentes y cada escuela de ingeniería los forma según su sello propio y su perfil de egreso.

¹⁷¹ Innovaciones Educativas en Ingeniería. Actas Segundas Jornadas de Educación en Ingeniería (2017).

9. PROPUESTAS DE FORMACIÓN DE LA ACADEMIA DE INGENIERÍA

La Ingeniería y los ingenieros se encuentran hoy frente a grandes desafíos como la necesidad de abordar los problemas relevantes de la humanidad, enfrentar requerimientos por una mejor calidad de vida de la población o diseñar obras más seguras que entreguen mayor protección frente a desastres naturales.

Esto retos se plantean en un ambiente de grandes cambios científicos, tecnológicos y regulatorios, globalización del ejercicio profesional, necesidad de aumentar la productividad y uso de nuevas metodologías y herramientas.

Existe consenso sobre la necesidad de modernizar el sistema de enseñanza de la ingeniería y adaptarlo a los nuevos desafíos, estableciendo metodologías de enseñanza acordes a este cambio y a nuestra realidad.

En este proceso, aparecerán diferentes barreras que limitarán la modernización del sistema de enseñanza. En un estudio reciente de la Escuela de Ingeniería del MIT¹⁷² se identificaron, mediante encuestas a 50 líderes globales en educación en ingeniería, las principales barreras al cambio en la enseñanza. Estas, que se encuentran presentes también en las escuelas de ingeniería locales, son las siguientes:

- Necesidad de alinear el gobierno de la universidad, con los objetivos de la educación superior.
- Desafío de entregar aprendizaje activo, centrado en el estudiante, a grandes grupos de alumnos.
- Estructura en núcleos monodisciplinarios en numerosas escuelas de ingeniería.
- Sistemas de nombramiento y promoción de profesores sin considerar la labor docente.

En esta revolución educativa resulta necesario preguntarse cómo transformar nuestro capital humano en ámbitos como el de la ingeniería. Algunas preguntas que se deben responder son:

-
- ¿Cuál es el perfil del ingeniero que debemos formar?*
 - ¿Debe ser capaz de desempeñarse en diferentes campos y cumplir distintos roles?*
 - ¿Debemos formar ingenieros especialistas o generalistas?*
 - ¿En qué áreas deberíamos formarlos y cuántos de ellos en cada área?*
 - ¿Qué competencias y valores deberían tener?*
-

En este capítulo se presenta una propuesta de la Academia, que busca dar respuesta a estas y otras preguntas, para formar a los ingenieros del futuro, habilitarlos y mantenerlos vigentes para enfrentar los nuevos desafíos de la profesión.

9.1 Tendencias globales en la formación de ingenieros

Resulta conveniente, para dar respuesta a las preguntas planteadas anteriormente, conocer la formación de ingenieros en países desarrollados. Hay tendencias globales que deberían considerarse. En el estudio referido anteriormente, se señalan tres de ellas, las que se explican a continuación:

- La primera consiste en el cambio en el liderazgo en los programas de ingeniería, desde los países del hemisferio norte hacia los del sur y desde los países desarrollados a los emergentes en Asia y Sudamérica. Algunos gobiernos realizan importantes inversiones en la enseñanza de la ingeniería, como una forma de impulsar a través del emprendimiento tecnológico su desarrollo económico.

¹⁷² Graham, Ruth (2018). The global state of the art in engineering education. Massachusetts Institute of Technology (MIT).

- La segunda tendencia radica en la modificación de los planes de estudio y la incorporación de aspectos que enfatizan la posibilidad de los alumnos de elegir, aprendizaje multidisciplinario e impacto social del trabajo realizado, unido a una mayor experiencia más allá del aula, fuera del campo tradicional de la ingeniería y en todo el mundo.
- La tercera se observa en la aparición de una nueva generación de instituciones orientadas a la enseñanza de la ingeniería, con un plan de estudios integral, centrado en el alumno y en la integración de conocimientos y habilidades a proyectos de diseño.

El sector educacional ingresa en un período de cambio rápido y fundamental, donde los programas tradicionales no serán los más apreciados, abriéndose la posibilidad de nuevos actores de diferentes rincones del mundo.

9.2 Orientaciones para la formación de ingenieros en Chile

Las facultades de ingeniería chilenas están adoptando en forma creciente estas orientaciones y/o tendencias, avanzando hacia una modernización que el país requiere para transitar desde una economía basada en recursos naturales a una basada en el conocimiento.

9.2.1 Perfil de ingreso

El nivel de formación de los colegios chilenos resulta deficiente, especialmente en las áreas STEM. Por ello, las universidades se esforzarán para nivelar los conocimientos previos de los alumnos que ingresan. **Las universidades deben establecer un perfil mínimo de ingreso para los estudiantes.** Los postulantes que no cumplan ese requisito deberían pasar por un proceso de nivelación de competencias, incluido en el diseño de la carrera. Esto permitirá lograr tasas razonables de retención y titulación, las que son bajas, a la vez que disminuir la duración de las carreras.

9.2.2 Foco en necesidades del país y oportunidades de desarrollo

La formación se orientará a preparar profesionales considerando las necesidades del país y sus oportunidades de desarrollo futuro. Un ejemplo se observa en la formación en Chile en los ámbitos de ingeniería sísmica y minería. Otro caso radica en las energías renovables y las ventajas comparativas de Chile, debiéndose generar la posibilidad que un ingeniero nacional aprenda en profundidad las características de la energía solar térmica y fotovoltaica.

En la encuesta realizada, el 76% del total de ingenieros opinan que los sectores de actividad económica que mayoritariamente demandarán ingenieros civiles o presentarán las mayores oportunidades para su desarrollo profesional, serán nuevas tecnologías de información, sustentabilidad y medio ambiente, infraestructura, minería y energía.

Las universidades deben preguntarse sistemáticamente sobre el estado del arte y la pertinencia de su enseñanza, avanzando en la formación de alumnos con una visión de futuro de las necesidades del país y sus oportunidades de desarrollo, más que con miradas de mercado de corto plazo.

9.2.3 Vinculación con el medio y formación empírica

Uno de los aspectos a abordar con mayor énfasis en la formación de los ingenieros, se encuentra en la vinculación de la profesión con el medio. Es necesario que los alumnos entiendan, desde muy temprano, la relación entre la ingeniería y su comunidad y los efectos que produce en ella el ejercicio de la profesión.

Es preciso que las escuelas de ingeniería establezcan una relación más estrecha con las empresas, con la actividad productiva y con sus tendencias. La experiencia de los alumnos, al trabajar en proyectos reales en forma rigurosa junto a sus profesores, contribuye a una mejor formación. Esta formación empírica, además de beneficiar al alumno, se transforma en un aporte a la industria y a la sociedad.

Además, se debe modificar el sistema de prácticas de vacaciones o pasantías en empresas. Estas permiten que el estudiante se contacte directamente con el mercado laboral, identificando mejor sus áreas de interés y orientar su carrera. En otros países, las prácticas o pasantías se extienden por un período de 6 meses, en un contexto de trabajo real y con el alumno realizando un verdadero aporte.

Debe revisarse la estructura de las carreras y el balance entre la enseñanza teórica y aplicada. **Se reformularán las mallas curriculares dando mayor énfasis a la ingeniería aplicada**, considerando las experiencias exitosas de otros países.

9.2.4 Formación para un mundo global

La formación de los ingenieros a mediano y largo plazo se orientará a prepararlos para un mundo global, para ello, **deben adecuarse los criterios de acreditación de las carreras a los estándares internacionales, colocando el énfasis en los resultados del aprendizaje** y consistentes con los acuerdos de Washington (Washington Acc)¹⁷³ y de Sydney¹⁷⁴ de modo que los graduados de los programas acreditados de ingeniería y tecnología en ingeniería ejerzan su profesión en diferentes países. Para ello, resulta necesario reconocer la existencia de dos tipos de ingenieros: de base científica, que corresponden a los ingenieros civiles en sus diversas especialidades y menciones, e ingenieros de base tecnológica en ejecución y especialidades.

En el ámbito de la formación, para que los alumnos tengan movilidad desde sus inicios, es indispensable el acceso a una estadía prolongada en el extranjero, para lograr una visión distinta y una mejor comprensión de un mundo globalizado.

9.3 Estructura de la carrera

Existen diferentes criterios a considerar en la estructuración de las carreras. Hay quienes plantean que se debe entregar a los estudiantes una buena formación base, para que posteriormente ellos se especialicen según sus intereses, en tanto que otros plantean formar especialistas según las necesidades de la sociedad. Seguramente ambos tienen razón, pues la sociedad requiere de diferentes tipos de ingenieros.

La formación de los ingenieros debe seguir la estructura tradicional de las grandes escuelas de ingeniería, un primer ciclo muy fuerte en ciencias básicas, esencial para comprender los avances que las ciencias aplicadas y de la ingeniería experimentan con gran velocidad, luego un ciclo de ciencias de la ingeniería, relevante para que el ingeniero se mantenga al día en sus conocimientos y finalmente, un ciclo de materias aplicadas.

9.3.2 Formación base

Como formación básica, la universidad debería entregar a sus alumnos una formación general, que otorgue fundamentos y una forma de pensar, de abordar problemas, una estructura de pensamiento. En un mundo cambiante, **los estudiantes de ingeniería deben contar con una sólida formación en ciencias básicas y en ciencias de la ingeniería y en particular, de ciencias de la computación**. Con esta preparación los ingenieros se adaptarán a las diferentes situaciones de su vida profesional.

¹⁷³ El Acuerdo de Washington, establecido en el año 1989, es un acuerdo internacional entre organismos responsables de la acreditación de programas de ingeniería que reconoce la equivalencia de los programas acreditados por esos organismos y recomienda que los egresados de programas acreditados por cualquiera de los signatarios sean reconocidos por los demás organismos de que cumple los requerimientos académicos para iniciar la práctica de la ingeniería.

¹⁷⁴ Acuerdo que reúne desde el año 2001 a las más prestigiosas agencias de acreditación de programas de tecnología en ingeniería del mundo.

9.3.3 Nivel de especialización

A medida que crece la complejidad de los desafíos, se requiere de conocimientos más profundos en áreas complementarias. Al mismo tiempo, se requiere de ingenieros que abarquen las diferentes especialidades cubriendo los requerimientos actuales y futuros de la sociedad.

Además de las especialidades tradicionales como civiles, mecánicos, químicos, minas, transporte, eléctrico, electrónico, computación, se requerirán nuevos especialistas. La mayor parte de los ingenieros encuestados (74%), opina que las áreas anteriores seguirán siendo necesarias, pero que además aparecerán nuevos requerimientos que se agruparán y fusionarán en nuevas especialidades.

Se necesitarán expertos en áreas con ventajas comparativas de Chile, y también ingenieros capaces de gestionar empresas y emprendimientos con una visión moderna, que cuenten con herramientas de finanzas, *marketing*, logística y operaciones en el mundo digital.

9.3.4 Perfil de egreso

Los ingenieros, como se indicó, poseen diferentes roles en las empresas, requiriendo distintas competencias, por ello, cada vez resulta más complejo que las universidades formen a los estudiantes con todas las competencias que requiere la sociedad. Las universidades, por su parte, enfrentan realidades diferentes en relación con los alumnos que reciben y los medios que poseen para su formación.

Si bien la sociedad requiere ingenieros con capacidades diferentes y cada escuela los forma según su sello propio y su perfil de egreso, **deberían existir ciertos resultados de aprendizaje mínimos en los perfiles de egreso de las carreras de ingeniería, alineados con los establecidos en estándares internacionales.**

A modo de referencia, en el Anexo 14 se indican las capacidades mínimas establecidas en dos reconocidas instancias: ABET¹⁷⁵ y la iniciativa CDIO¹⁷⁶.

9.4. El currículo

El sistema de formación de ingenieros se orienta a preparar profesionales en especialidades definidas, en un sistema con una puerta de entrada el primer año, y una puerta de salida al titularse, sin espacio para la movilidad entre carreras y profesiones. Representa una formación rígida, en un mundo que cambia rápidamente.

9.4.1 Currículo flexible

La velocidad de los cambios resulta tan rápida que no se puede predecir cuáles serán los requerimientos de ingenieros en el futuro. En este sentido, **se debe preparar ingenieros con una formación básica muy sólida y suficientemente flexible para adaptarse a las necesidades del futuro.** Se les debe entregar, además, la posibilidad que se desarrollen en aquellas áreas de su interés generando elementos que crucen las disciplinas y espacios de trabajo conjunto entre ellas.

9.4.2 Formación terminal o con salidas intermedias

Otro aspecto a considerar reside en una **formación con salidas intermedias o terminal, orientada a obtener un título profesional o un grado académico.** Como se mencionó, la formación de un ingeniero no contempla salidas intermedias, en las que el alumno elija seguir estudiando o insertarse en el mundo laboral para adquirir experiencia en la industria y luego, si lo desea, regresar al estudio.

¹⁷⁵ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology). Es una organización no gubernamental, sin fines de lucro, dedicada a la acreditación de programas de educación universitaria en disciplinas de ciencias aplicadas, ciencias de la computación, ingeniería y tecnología. ABET acredita actualmente a unos 3852 programas en 776 facultades y universidades en 31 países. <http://www.abet.org/accreditation/>

¹⁷⁶ <http://www.cdio.cl/index.html>

9.4.3 Integración con otras disciplinas y profesiones

El trabajo del ingeniero requiere hoy la interacción con otras especialidades. Resulta común que en un proyecto de inversión trabajen en conjunto ingenieros electrónicos, eléctricos, mecánicos, químicos, industriales y civiles. En numerosas universidades existe aún la visión en la formación aislada de los ingenieros, por especialidades. Pero su trabajo hoy se desarrolla dentro de equipos multidisciplinarios, algo a considerar en su formación. Esta es la tendencia en universidades extranjeras y algo se observa en esta línea en algunas universidades chilenas.

Las universidades contarán con proyectos transversales, interdepartamentales, de manera que los alumnos se preparen mejor para interactuar con sus pares cuando llegue el momento. Esta habilidad se logra viviendo la experiencia interdisciplinaria como parte de la formación.

Hoy resulta indispensable además integrar en el trabajo del ingeniero, los conocimientos provenientes de diversas disciplinas. Cada vez se requiere mayor participación del ingeniero en equipos de trabajo integrados por profesionales de otras áreas, tales como arquitectos, economistas, médicos, sociólogos, psicólogos, antropólogos o científicos, se necesitan distintas visiones para resolver un determinado problema. Hay experiencias que establecen combinaciones con arquitectura, leyes, biología, medicina y diseño, entre otras. El alumno encuentra así respuesta a sus inquietudes personales y se fomenta la creatividad.

9.5 Duración de la carrera

Como se mencionó, tradicionalmente el ingeniero civil se forma en las universidades chilenas en un período comprendido entre 11 y 12 semestres. En este lapso se entregan conocimientos que supuestamente le servirán para toda su vida profesional. Esta situación cambió radicalmente, debido al avance tecnológico y a la obsolescencia del conocimiento. No tiene sentido entregar conocimientos que quedarán obsoletos en el momento en que el ingeniero ingrese al mercado laboral. Se hace necesario, por lo tanto, revisar la duración de la carrera.

Hoy existe consenso en que la carrera de ingeniería presenta una duración excesiva, que conlleva un alto costo para la familia, el alumno y la sociedad. En la encuesta realizada, la mayor parte de los ingenieros (66%) opina que la duración de los programas de estudio de ingeniería civil es excesiva y debería acortarse, al menos a 5 años.

La tendencia global consiste en una **carrera de menor duración, en la que un profesional avance por etapas, en un proceso de formación que dure toda la vida**, partiendo con el Bachillerato para luego avanzar a los niveles de licenciatura, máster y doctorado, con salidas intermedias al mercado laboral o hacia otras carreras. En este proceso, un ingeniero puede convertirse en especialista en algún campo tradicional o desarrollar su carrera en las nuevas áreas.

La duración de la carrera debería ser analizada con detenimiento pues se requiere asegurar que en el período de estudios se entregue al alumno las herramientas suficientes para su adecuado desempeño en el mundo profesional.

La duración de la carrera dependerá de si las universidades se concentrarán en la formación académica ligada al conocimiento o en la habilitación profesional. Si se centran solamente en los aspectos académicos, cuatro años de estudio serían suficientes; pero, si desean entregar un título habilitante, cuatro años serían insuficientes.

9.6 Metodologías de enseñanza

Como se señaló anteriormente, la metodología de enseñanza tradicional de la ingeniería no cambió significativamente, las universidades siguen apegadas a los métodos tradicionales de clases expositivas y evaluación escrita. **Las escuelas de ingeniería deben reemplazar sus metodologías actuales por trabajos de aplicación, aprendizaje basado en proyectos y una formación más centrada en el desarrollo personal.**

9.6.1 Nuevo rol del profesor

El esquema de formación evolucionará hacia un aprendizaje activo, que incluya una participación de los estudiantes más cuestionadora. Las clases deberían ser más interactivas y la relación alumno - profesor más horizontal. El rol del académico debe cambiar para encantar a los alumnos, para que vayan a clases y aprendan, será un guía de la discusión y ayudará a formar el pensamiento crítico.

El alumno, por su parte, dejará de ser un agente pasivo y tomará un rol principal, convirtiendo al profesor en su guía. Esto ocurre en el extranjero, comenzando en la escuela secundaria. A modo de ejemplo, en algunos países se entrega un *Tablet* al alumno y luego de una clase presencial breve, el profesor toma contacto por este medio y plantea ejercicios, entrega tareas y el estudiante trabaja en el momento más conveniente. Entonces, el alumno investiga, prepara un trabajo y lo presenta, con mucha independencia.

Otro aspecto para considerar radica en el análisis del perfil de los profesores y su renovación, considerando los cambios a implementar. En los últimos años existió una importante renovación e incorporación a las plantas docentes de profesores jóvenes, de jornada completa, en su mayoría con estudios de doctorado. Si bien resulta importante el alto nivel académico de un docente, es necesario un equilibrio entre doctores en ingeniería y profesionales de la práctica, porque los alumnos necesitan aprender de expertos con abundante ejercicio de la profesión.

En los niveles más avanzados de estudios, sin embargo, se debe complementar la formación de los estudiantes con profesores que ejercen la profesión para aprender de su experiencia.

9.6.2 Metodologías de enseñanza - aprendizaje

Resulta necesario que los docentes incorporen nuevas metodologías de enseñanza para mejorar los resultados de aprendizaje, las tasas de retención y tiempo de titulación. Algunas de éstas se mencionan a continuación.

Aprendizaje en línea

Las universidades tenderán hacia clases mixtas: presenciales y en línea o totalmente en línea, complementando contenido virtual con presencial, aprovechando al máximo las herramientas tecnológicas disponibles como simuladores, programas de diseño y clases a distancia, entre otros. Estos se emplearán como complemento en la formación de estudiantes de pregrado y como una poderosa herramienta para la preparación continua de los ingenieros. Así, se estructurarán cursos remotos o “envasados”, para flexibilizar la educación hasta el punto en que cada alumno tome cursos individuales en aquellas materias de su interés o cursos masivos en línea (MOOC),¹⁷⁷ de gran impacto en la formación continua y que sería el futuro la formación básica, en combinación con la actividad presencial y con el control de que efectivamente los alumnos han asimilado los conocimientos.

Aprendizaje Basado en Proyectos

El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) constituye una metodología de enseñanza basado en la utilización de proyectos reales para resolver un problema altamente motivador, relacionado

¹⁷⁷ MOOC o *Massive Online Open Courses*

directamente con el contexto de la profesión. En este enfoque educativo, los alumnos desarrollan competencias trabajando colaborativamente.

Aprendizaje Basado en Casos

El aprendizaje basado en casos (ABC) resulta una estrategia de enseñanza constituida por un conjunto de experiencias o situaciones de la vida real presentadas en forma de narrativa, con la finalidad de reflexionar sobre el o los cursos de acción elegidos y proponer acciones alternativas ante estas situaciones.

Aprendizaje Colaborativo

El aprendizaje colaborativo consiste en un modelo de enseñanza, que se trata básicamente en trabajar en grupos con estructuras más horizontales que jerárquicas, enfatizando los valores de la colaboración por sobre los de la jerarquía. Este modelo facilita la integración entre alumnos de distintas culturas, religiones y costumbres.

Instrucción entre Pares

La Instrucción entre Pares representa un método de enseñanza interactivo, desarrollado originalmente para mejorar el aprendizaje en clases de introducción a la física de pregrado en la Universidad de Harvard, por el profesor Eric Mazur, en los años '90. Este enfoque se centra en el estudiante, que aprende fuera de la sala de clases, leyendo las materias y en el momento de llegar a sala, el profesor realiza las preguntas produciéndose la asimilación de la información al aula.

Clases invertidas

Este constituye un enfoque pedagógico donde el aprendizaje se desplaza de la dimensión grupal a la individual, transformándose de esta manera el espacio grupal en un ambiente de aprendizaje dinámico e interactivo. En este modelo, el profesor guía a los estudiantes en la aplicación de los conceptos y en su involucramiento con el contenido del curso.

En este enfoque el alumno aprende por su cuenta y aproveche el tiempo de clases para el desarrollo de procesos de mayor complejidad que favorezcan su aprendizaje.

Aprendizaje *top-down*

De acuerdo a este enfoque, resulta conveniente comenzar el proceso de formación con una visión holística del problema y luego aprender cada elemento de la solución. Esto se denomina metodología de aprendizaje *top-down*, en vez de comenzar con cada tema por separado y esperar que el estudiante comprenda el todo al final, al integrar las partes.

9.6.3 Recursos de enseñanza y aprendizaje¹⁷⁸

Existen diferentes recursos para mejorar la enseñanza y aprendizaje de los alumnos, según los resultados buscados. Entre estos se encuentran:

Laboratorios

Las universidades deben contar con la infraestructura de laboratorios que favorezca ubicarse en la frontera en el mundo, no sólo en Chile. Esto requiere una inversión muy significativa. Resulta clave que los estudiantes se acerquen a las fronteras del conocimiento muy tempranamente y sean capaces de abrir investigaciones, trabajar y mover esas fronteras.

El contacto con la tecnología actual debería estar en las pasantías y en las prácticas de los estudiantes en las empresas, que poseen la tecnología. A modo de ejemplo, si los grandes sistemas tecnológicos se ubican

¹⁷⁸ Music, Juan. Propuesta para la renovación de la formación de Ingenieros en Chile.

en Codelco, no es necesario tenerlos en la universidad, sólo se requiere enviar a los alumnos a pasantías a esta empresa minera.

Sala taller para aplicar metodologías activas.

El proceso de aprendizaje activo requiere disponer de infraestructura acorde al sistema de aprendizaje. Un ejemplo se observa en las salas TEAL (*Technology Enabled Active Learning*) y el FABLAB (*Fabrication Laboratory*).

La sala Teal se compone de mesas redondas para grupos de estudiantes, distribuidas en un aula de clases. En ellas, los alumnos conversan e intercambian ideas sobre un problema a resolver. Este trabajo se monitorea por el profesor a través de un software para conocer si requieren ayuda. El equipamiento de la sala incluye software, accesos a plataformas, lenguajes de programación, proyectores y conexión para realizar video conferencias. En la sala se proyecta el trabajo de cada grupo.

El FABLAB constituye un laboratorio de fabricación digital donde se producen prototipos utilizando máquinas y equipos industriales, algunos controlados por computadoras, en ambiente colaborativo y colectivo.

Software para el proceso de enseñanza y aprendizaje

Existe una amplia gama de software disponible para apoyar el proceso de enseñanza y aprendizaje. Este, catalogado como *Courseware*,¹⁷⁹ corresponde a plataformas donde el profesor entrega los contenidos y material del curso. Esta plataforma posee las herramientas necesarias para crear y administrar esos materiales e incluye, además, herramientas de evaluación.

Medios visuales

Hay diferentes métodos visuales que facilitan el proceso de enseñanza y aprendizaje. Entre estos se observa: grabación en video de las clases de los profesores para que estudiantes repasen la clase o recuperen contenidos en caso de no haber asistido, uso de realidad virtual y realidad aumentada para aprender conceptos o realizar sin riesgos visitas a instalaciones industriales, uso de mapas conceptuales y mentales, entre otras.

Material Complementario

Además, existen diversos materiales complementarios que facilitan el proceso de enseñanza-aprendizaje como pizarras digitales para leer y almacenar en un archivo electrónico la información que se escribe allí, lápices inteligentes para capturar, procesar y transcribir contenidos de una pantalla o la voz del profesor, entre otros.

9.7 Fortalecimiento y desarrollo de competencias

El proceso de transformación que sufre el mundo requerirá fortalecer algunas competencias en los ingenieros a formar y desarrollar otras, como se indica a continuación.

9.7.1 Mantener la formación en ciencias básicas

Actualmente se enfrenta una etapa de cambio donde algunas universidades disminuyen la duración de la carrera, reduciendo el número de horas dedicadas a los ramos de ciencias básicas y ciencias de la ingeniería e incrementando las horas dedicadas a habilidades sociales.

Esta tendencia atenta contra la fortaleza de la formación tradicional de ingenieros con sólida formación en ciencias básicas y en ciencias de la ingeniería, preparación que dotó al ingeniero de amplitud de

¹⁷⁹ Término que combina las palabras 'curso' con 'software'.

conocimientos, con un nivel de profundidad adecuada, permitiendo su adaptación a los cambios y a resolver adecuadamente problemas en diferentes ámbitos.

Resulta necesario, no sólo mantener la formación en ciencias básicas, sino también incluir las ciencias biológicas, pues cada día resulta más relevante el trabajo del ingeniero en este ámbito.

Si bien se desea la presencia de las habilidades sociales o competencias transversales en la formación, esto no será a costa de las ciencias básicas.

9.7.2 Habilidades técnicas

Es preciso destacar que **la primera competencia a fortalecer en la formación de los ingenieros, se concentra en la habilidad técnica para realizar de buena manera su trabajo**. No se observan avances en la preparación de ingenieros en éstas áreas, si ven en el desarrollo de sus habilidades sociales como capacidades comunicacionales, negociación e interacción con profesionales de otras disciplinas habilidades, por cierto, importantes, que pueden ser adquiridas posteriormente durante un proceso de formación continua.

En la encuesta realizada, el 32,3% del total de ingenieros consultados opinan que debería fortalecerse la formación técnica de los ingenieros, principalmente, en el conocimiento de las nuevas tecnologías.

Nuevas especialidades

Con el desarrollo de las ciencias y tecnologías **deberían impartirse nuevas especialidades de ingeniería**, tales como biotecnología e ingeniería biomédica, por ejemplo.

Fortalecer la capacidad de diseñar

En la formación de los ingenieros se otorga escasa importancia al diseño. **Se debe fortalecer desde el inicio de la carrera la capacidad de diseñar**. Esta competencia ya se incorpora en algunas carreras de ingeniería, donde a partir del primer año los alumnos trabajan en proyectos.

Conocimiento y gestión de nuevas tecnologías

La formación tradicional del ingeniero se enfocó en las ciencias y en el desarrollo y resolución de problemas. Ahora, inmersos en una revolución de las tecnologías de información y comunicación, resulta necesario para los ingenieros **conocer en profundidad los últimos desarrollos tecnológicos y gestionar adecuadamente las nuevas tecnologías** del mercado tales como robótica, inteligencia artificial, nanotecnologías y *big-data*, entre otras, si el país desea ubicarse a la vanguardia en estos ámbitos.

Gestión de proyectos

La formación en base a proyectos, que incluye elementos transversales y trabajo con otros países y disciplinas, ofrece un contexto más similar al mundo real, dinámico, rápido, que obliga a cumplir plazos. **Desde el inicio de la carrera y especialmente en su etapa final se profundizará la gestión de proyectos**.

Fortalecimiento del idioma inglés

Es necesario fortalecer el dominio de inglés y avanzar hacia un país bilingüe. El idioma inglés resulta fundamental para los ingenieros porque se desempeñarán en un mundo global en el que las soluciones ya no son locales y deberá trabajar con ingenieros con otros idiomas y otras culturas.

Esto debe partir en la enseñanza básica y media y reforzarse en la universidad. Esto implica no sólo hablar en inglés, también contar con la capacidad de exponer adecuadamente las ideas en público y redactar documentos e informes en este idioma.

9.7.3 Habilidades sociales

Los ingenieros forman parte de la sociedad e interactúan con ella. Para ello **es importante que desarrollen habilidades sociales**.

En la encuesta realizada, el 31,2% de los ingenieros consultados opinan que debería incorporarse en la formación de los ingenieros habilidades blandas, evaluación social de los proyectos y relaciones con las comunidades.

En diferentes universidades se iniciaron cambios en esta dirección. Hoy los alumnos se abren más al mundo, se les enseña a trabajar en equipo y con otras culturas mediante intercambios académicos.

Trabajo en equipos multidisciplinarios¹⁸⁰ o interdisciplinarios¹⁸¹

En el mundo actual, el ingeniero trabaja no solamente con sus pares, sino que también con profesionales de otras áreas como humanidades, sociología, psicología y antropología. La labor en equipos multidisciplinario o interdisciplinarios resulta esencial en el actuar de los ingenieros y deberá ser fundamental en la formación. Hoy **se requiere un ingeniero con formación más amplia, capaz de entender los problemas de las personas y que considere distintas visiones**, siendo necesario fortalecer el trabajo en equipos multidisciplinarios.

Competencias comunicacionales

Se requiere mejorar la capacidad de expresión de los ingenieros, tanto de los estudiantes como los profesionales que están ejerciendo. La dinámica actual de los proyectos precisa ingenieros con capacidad de expresarse oralmente y por escrito con claridad, explicar adecuadamente sus proyectos y las soluciones propuestas, argumentar, explicar, rebatir y presentar sus resultados.

Es usual que los periodistas interroguen a los ingenieros sobre sus proyectos y estos no logren explicar de manera simple, en un lenguaje comprensible para la opinión pública, su alcance y los beneficios para la comunidad. Resulta fundamental además la comunicación escrita, una importante carencia histórica en la formación de los ingenieros.

Desarrollo de redes de contacto con pares

Una competencia relevante por adquirir se encuentra en el **desarrollo de relaciones profesionales con pares, tanto locales como extranjeros**. El ingeniero se desenvuelve en un mundo global donde es vital establecer redes de contactos nacionales e internacionales. La interacción con sus pares permite al ingeniero una visión más amplia de la profesión y conocer otras opiniones que favorecen su desarrollo personal y profesional.

Competencias de liderazgo

Es preciso que los ingenieros **desarrollen competencias de liderazgo, para dominar su disciplina y también asumir cargos de responsabilidad** en el ámbito empresarial, público y político y contribuir desde allí al desarrollo del país.

Relación con el entorno, la sociedad y el medio ambiente

En los medios en los últimos años se observó que, en general, los proyectos relevantes no fracasan hoy por dificultades técnicas, sino por falencias en el trabajo con la comunidad, aunando las opiniones de ésta y considerando sus necesidades.

¹⁸⁰ Equipos de trabajo que involucran el conocimiento de varias disciplinas, cada una de las cuales aporta desde su área de competencia.

¹⁸¹ Equipos de trabajo que abarcan aspectos de varias disciplinas, de una manera puntual. La diferencia con los equipos multidisciplinarios está en que en los interdisciplinarios hay una parte de conocimiento de distintas áreas, pero no el todo.

Debe incorporarse con más fuerza en la formación de los alumnos, **la relación con el entorno, la sociedad, la protección del medioambiente, la capacidad de interactuar con la gente, con profesionales de otras disciplinas y con la comunidad.**

9.7.4 Habilidades personales

Es preciso que los ingenieros desarrollen habilidades personales para desenvolverse mejor en el mundo que viene, tales como:

Autoaprendizaje

El avance tecnológico y la creciente participación de Chile en el mundo globalizado obligará a que los futuros ingenieros se actualicen permanentemente, siendo necesario prepararlos para que desarrollen una formación continua durante toda su vida profesional. Esto requiere **fortalecer la capacidad de proponerse metas y esforzarse para alcanzarlas, tanto en el ámbito profesional como personal.**

Apertura frente a los cambios

La formación tradicional de los ingenieros busca su inserción en un mundo de reglas establecidas, pero hoy con los cambios tecnológicos, las organizaciones se plantean nuevos desafíos y ofrecen oportunidades donde hay que definir la forma en la que se abordarán y las competencias y recursos para alcanzarlas.

La dinámica actual requiere que los ingenieros tengan una mente y actitud abierta frente a los cambios mundiales, por ello se debe **desarrollar la capacidad de adaptarse a las transformaciones e, incluso, anticiparse a ellas.**

Capacidad de análisis de información

Es indispensable entregar a los alumnos las herramientas para tomar decisiones en base a una gran cantidad de información. Hoy existe un alto volumen de información disponible, proveniente de todo el mundo, siendo necesario **desarrollar la capacidad de discriminar para seleccionar sólo la información útil para su trabajo profesional.**

Pensamiento crítico

El pensamiento crítico es un proceso que emplea el conocimiento y la inteligencia para llegar de manera efectiva a una postura razonable y justificada sobre un determinado tema. Esto implica reconocer y evitar los prejuicios, identificar y evaluar los argumentos y fuentes de información. Pensar críticamente consiste en reflexionar sobre diferentes situaciones de manera independiente.

El pensamiento crítico es fundamental en el análisis y diseño en ingeniería. Por ello, a medida que un ingeniero avanza en sus estudios, su desarrollo resulta cada vez más importante. Es preciso que los ingenieros **desarrollen el pensamiento crítico** que les permita, a partir de sus conocimientos, llegar a sus propias conclusiones.

Imaginación y creatividad

Las Universidades deben, más allá de los conocimientos específicos, enfatizar en la capacidad de **desarrollar la imaginación y el pensamiento creativo.** Hoy el mundo presenta muchas más opciones y la enseñanza de la ingeniería no se reduce solamente al conocimiento clásico, también debe incluir miradas diferentes.

Los ingenieros jóvenes se destacan por una mente abierta, amplia movilidad, pensamiento global y capacidad para captar nuevas ideas. En este camino se requieren ambientes formativos estimulantes, con motivación a relacionar sus estudios con las problemáticas sociales y desarrollar iniciativas creativas. El alumno tendrá la capacidad de generar múltiples soluciones para un problema y después elegir la mejor.

Innovación y emprendimiento

El énfasis tradicional en la formación de los ingenieros se orientó a preparar trabajadores dependientes en el mundo laboral, no empresarios ni emprendedores. Existe hoy una juventud que busca crear, emprender, innovar y dar sentido a su vida y su trabajo. El proceso de formación de ingenieros considerará un **foco fuerte en la innovación y el emprendimiento**. En la medida que se encuentren mejor preparados en estos aspectos, tendrán más posibilidades de alcanzar el éxito con innovaciones en áreas tradicionales y generar productos y servicios para nuevos mercados.

Esta formación debería darse desde los primeros años de la carrera, a través de laboratorios abiertos o de otros mecanismos que faciliten contacto con las últimas tecnologías.

Habilidades éticas y valóricas

Existe una importante debilidad en la formación ética y valórica de los ingenieros. En la sociedad actual predomina el consumismo y el materialismo sobre los valores individuales y las necesidades de las personas. La formación de los ingenieros debe recuperar e impartir con más fuerza su formación ética. **Los estudiantes se prepararán para actuar éticamente frente a las más diversas situaciones considerando el respeto a la comunidad, al entorno y al medioambiente.**

9.8 Acreditación y habilitación profesional

Como se indicó anteriormente, desde el 2006, Chile cuenta con un Sistema de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Terciaria pero la acreditación, en el caso de las carreras de ingeniería, es un proceso voluntario. El importante aumento en los últimos años de la oferta de programas académicos orientados a obtener el título de Ingeniero Civil, genera preocupación sobre la calidad en la formación de los futuros profesionales. Cabe preguntarse, considerando el rol que tiene hoy y el que tendrá a futuro la ingeniería, si es que si la acreditación, al menos de algunas carreras, debería ser obligatoria. Este es un tema que queda planteado como un desafío a futuro.

La habilitación profesional, entendida como el requisito legal para ejercer la profesión, se entrega en Chile a través de las universidades reconocidas por el Estado. El título, a diferencia de la mayor parte de los países con acuerdos internacionales con Chile que incluyen los servicios profesionales, permite al ingeniero ejercer su profesión durante toda su vida¹⁸². La dinámica del mundo actual y sus cambios, requieren que el ingeniero se mantenga permanentemente actualizado en sus conocimientos. El sistema de habilitación se basa en la certificación de la trayectoria del profesional y considera tres elementos: la formación académica lograda mediante estudios de pregrado, posgrado y educación continua; la formación y el desarrollo de competencias de la disciplina en un área específica, al desempeñar la profesión y la verificación de las competencias que certifican la calidad del profesional.

“El ejercicio de la profesión debería estar sujeto a procesos de habilitación periódicos, realizados por entidades técnicas competentes diseñadas para cumplir con esta función”¹⁸³.

Esto último debe realizarse periódicamente por una institución autónoma, que defina los requisitos necesarios para la obtención de dicha calidad. En relación a este tema, la mayoría de los encuestados (56,3%) sostiene que debería implementarse un sistema, independiente de las universidades, que otorgue habilitación profesional en conjunto con entregar certificaciones periódicas.

¹⁸² Instituto de Ingenieros de Chile (2016). Habilitación Profesional de Ingenieros en Chile.

¹⁸³ Instituto de Ingenieros de Chile (2016). Habilitación Profesional de Ingenieros en Chile.

9.9 Educación continua

Los diversos roles que cumplen los ingenieros en la sociedad demandan diferentes competencias, esto unido al rápido cambio tecnológico, hace imposible que en su formación se abarquen en profundidad todas las materias de su vida profesional.

Es indispensable que el profesional **complemente su formación inicial con estudios de actualización, cursando programas para mantenerse al día en sus conocimientos**. Estos programas se constituyen de cursos cortos, cursos en línea, diplomados, magísteres o doctorados profesionales.

La mayor parte de los encuestados (62%), opina que los ingenieros civiles deberán perfeccionarse en forma permanente para desenvolverse en su vida profesional. En relación a las características del perfeccionamiento, la mayoría de los encuestados (58,3%) considera que los ingenieros deberían continuar sus estudios luego de su titulación, con diplomados, postítulos o siguiendo programas de magister o de doctorado.

La forma de responder rápidamente a las demandas de especialización emergentes sería con programas de diplomados y de magíster profesionales, orientados a una formación interdisciplinaria que relacione las especializaciones de ingeniería entre sí y con otras áreas como salud, psicología, educación y derecho.

10. DESAFIOS A FUTURO

El presente documento se preparó en base a antecedentes, estudios y entrevistas a los miembros de número de la Academia y a un grupo selecto de destacados ingenieros nacionales de diferentes especialidades. Se consideraron, además, las opiniones obtenidas en una encuesta electrónica masiva realizada a ingenieros que se desempeñan en distintas instancias, antecedentes complementados con estudios de entidades nacionales y extranjeras. En él se busca reflejar, a partir de apreciaciones de la situación actual, una visión de futuro de la ingeniería y de la formación de los ingenieros.

Entre los temas abordados en el informe existen algunos que, por su naturaleza, requieren de discusiones más profundas que las sostenidas aquí. En este capítulo se presenta una agenda con temas que, en la opinión de los miembros de número de la Academia, resulta necesario discutir en mayor profundidad.

10.1 Aspectos generales

Estamos viviendo en un mundo de cambios acelerados, donde la tecnología transforma la economía, las empresas, la sociedad y la vida de las personas. Las principales razones de estos cambios se encuentran en los avances del mundo en ciencia, tecnología e ingeniería (STEM).

¿cuál será el impacto de éstos cambios para la ingeniería nacional y para la sociedad?, ¿cómo abordarlos?, ¿qué áreas de desarrollo resultan prioritarias para el país? y ¿cuál será el impacto de la transformación digital en el trabajo?, son temas no agotados en este documento, que es necesario estudiar con mayor profundidad.

10.2 Formación de ingenieros

10.2.1 Formación de pregrado

El número de ingenieros civiles, con una formación de más de cinco años, que ejercen la profesión es relativamente bajo, en comparación con otros países en desarrollo. En 2017, se titularon 7.179 ingenieros civiles (75% hombres) en los 290 programas de las universidades habilitadas. En este escenario, de baja titulación, mayoritariamente de hombres, es preciso preguntarse:

¿cuántos ingenieros necesita Chile para poder enfrentar los desafíos futuros y aprovechar las oportunidades y cómo integrar mejor a las mujeres?

El 80% de los ingenieros titulados corresponde a las siguientes especialidades: Industrias, Computación, Obras Civiles, Mecánica o Minas. El 48,4% son Ingenieros Civiles Industriales. Ante esta situación, reflejo de la tradición y de las expectativas de los alumnos por estudiar carreras con una buena proyección laboral, cabe preguntarse si:

¿será necesario repensar el perfil del ingeniero civil para atender los desafíos futuros? y ¿cuántos ingenieros se requerirán en las diferentes especialidades actuales y en las que surjan en el futuro?

10.2.2 Formación de postgrado y educación continua

En este documento se indica que por los diversos roles que cumplen los ingenieros en la sociedad, que demandan diferentes competencias, sumado al rápido cambio tecnológico, resulta necesario que complementen su formación inicial con estudios de actualización, cursando programas con este objetivo.

A pesar de esta necesidad, hoy es reducido el número de ingenieros en programas de postítulo y postgrado. Por ello, para una baja matrícula y graduación de posgrados en ingeniería, en un escenario de rápido cambio tecnológico, en el que es necesario que los ingenieros complementen su formación inicial con estudios de actualización, es preciso preguntarse:

¿cómo deberán organizarse las carreras y su coordinación con los estudios de posgrado? ¿qué hacer para que los ingenieros mantengan vigentes sus competencias?

10.3 Acreditación de las carreras

Desde el 2006, Chile cuenta con un Sistema de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Terciaria. La acreditación, en el caso de las carreras de ingeniería, representa un proceso voluntario y en dos sentidos: institucional y de carreras. Hoy el 89,1% de las universidades con carreras de ingeniería, se encuentran acreditadas. Esto representa el 99,4% de los alumnos matriculados. Para el proceso de acreditación voluntario de las carreras de ingeniería planteado en la nueva ley de Educación Superior, considerando el rol que tiene y que tendrá la ingeniería cabe preguntarse si es que:

¿debería ser la acreditación obligatoria? y ¿cómo se resguarda la calidad de las carreras de ingeniería acreditadas?

10.4 Habilitación profesional

La habilitación profesional representa un requisito legal para ejercer la profesión y se entrega en Chile por medio de las universidades reconocidas por el Estado. Este título permite al ingeniero ejercer su profesión durante toda su vida.

La dinámica del mundo actual y sus cambios, requieren que el ingeniero se mantenga permanentemente actualizado en sus conocimientos. Para una habilitación profesional que en Chile ha sido entregada a las propias instituciones que gradúan los profesionales, haciéndola permanente para toda la vida, es preciso preguntarse si:

¿no debiera, como ocurre en otros países, el ejercicio de la profesión estar sujeto a procesos periódicos de habilitación, realizados por entidades técnicas competentes diseñadas para cumplir con tal función?

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Referencias

- Academia de Ingeniería de Chile, 2017. Encuesta semi estructurada a un grupo aleatorio de ingenieros de diferentes especialidades y antigüedad laboral.
- Alexandratos, Nikos and Bruinsma, Jelle, 2012, World Agriculture Towards 2030/2050, The 2012 Revision. ESA Working Paper No. 12-03, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Agricultural Development Economics Division.
- EIA (2017). U.S. Energy Information Administration. Annual Energy Outlook 2017 with projections to 2050.
- ESPAS (2012), Global Trends to 2030: Citizens in an Interconnected and Polycentric World. European Strategy and Policy Analysis Systems. EU, 180 págs.
- Kharas, Homi (2010), The Emerging Middle Class in Developing Countries, Working Paper, N° 285, Centro de Desarrollo de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE).
- Naciones Unidas (2015a). Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects: The 2015 Revision, DVD Edition.
- Naciones Unidas (2015b), Department of Economic and Social Affairs (2015). Trends in International Migrant Stock: The 2015 revision.
- Naciones Unidas (2014), Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2014). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision.
- Naciones Unidas (2013), Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2014). World Fertility Report 2013: Fertility at the Extremes.
- NIC (2012), Global Trends 2030. Alternative Worlds, National Intelligence Council. EE. UU., 140 págs.
- OCDE (2012). Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction.

Bibliografía

- Berger, Gastón (1964), *Phenomenologie du temps et prospective*. Paris, P.U.R., 275 páginas.
- Bitar, Sergio (2014), *Las Tendencias mundiales y el futuro de América Latina*. Serie Gestión Pública N° 78, CEPAL. Chile, 56 páginas.
- CEPLAN (2015), *Megatendencias: un análisis del estado global*, Centro Nacional de Planeamiento Estratégico de Perú. Perú, 103 páginas.
- ESPAS (2015), *Global Trends to 2030: Can the EU meet the challenges ahead?* European Strategy and Policy Analysis Systems. EU, 79 páginas.
- EY (2015), *Megatendencias para 2015. Entender el mundo en constante movimiento*, México, 51 páginas.
- Graham, Ruth (2018). *The global state of the art in engineering education*. Massachusetts Institute of Technology (MIT).
- Graham, Ruth (2017). *Snapshot review of engineering education in Chile*. UNESCO.
- Gartner (2017). *Gartner Top 10 Strategic Technology Trends for 2018*.
- Instituto de Ingenieros de Chile (2018). *La Formación de Ingenieros Civiles*.
- Instituto de Ingenieros de Chile (2016). *Habilitación Profesional de Ingenieros en Chile*.
- Instituto de Ingenieros de Chile (2011). *La Globalización de los Servicios de Ingeniería Originados en Chile*.
- Instituto de Ingenieros de Chile (2009). *Innovación Pilar Estratégico para el Desarrollo Económico*.
- Instituto de Ingenieros de Chile (2001). *Perspectivas y Desafíos de la Ingeniería chilena*.
- KPMG (2015), *Future State 2030: The global megatrends shaping governments*, KPMG International and Mowat Centre School of Public Policy and Governance, University of Toronto, Canada, 73 págs.
- National Academy of Engineering and National Research Council. *STEM Integration in K-12 Education*, 2014.
- National Academy of Engineering. *Frontiers of Engineering, Reports on Leading-Edge Engineering from the 2017@2011 Symposium*.
- PWC (2013), *Price-waterhouse Coopers, Cinco mega tendencias y sus posibles implicaciones*.

GLOSARIO

Organizaciones e instituciones

AICH: Academia de Ingeniería de Chile.
AME: Abundancia Media de Especies.
CEPAL: Comisión Económica para América Latina.
CNA: Comisión Nacional de Acreditación, Chile
CNCA: Consejo Nacional de Cultura y las Artes.
CNIC: Comisión Nacional de Innovación y Competitividad.
CONICYT: Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica.
CORFO: Corporación de Fomento de la Producción, Chile.
CRUCH: Consejo de Rectores de Universidades Chilenas.
FONDEF: Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico.
FONTEC: Fondo Nacional de Desarrollo Tecnológico y Productivo.
EIA: Energy Information Administration, Estados Unidos.
ESPAS: European Strategy and Policy Analysis Systems.
FIAC: Fondo de Innovación Académica.
IA: Inteligencia Artificial
I+D: Investigación y Desarrollo.
I+D+i: Investigación, Desarrollo e innovación.
MECESUP: Programa de Mej. de la Calidad y Equidad de la Educación Superior. Ministerio de Educación. Chile.
MINEDUC: Ministerio de Educación de Chile.
MIT: Instituto de Tecnología de Massachusetts (Massachusetts Institute of Technology), Estados Unidos.
NAE: Academia de Ingeniería de los Estados Unidos (National Academy of Engineering), Estados Unidos.
NIC: National Intelligence Council, Estados Unidos.
OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.
ODM: Objetivos del Milenio, Naciones Unidas.
ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible, Naciones Unidas.
ONU: Organización de Naciones Unidas.
PFCHA: Programa Formación de Capital Humano Avanzado
PI2030: Programa de Ingeniería 2030 de CORFO.
REUNA: Red Universitaria Nacional.
SIES: Servicio de Información de Educación Superior. Ministerio de Educación. Chile.
STEM: Science, Technology, Engineering and Mathematics.
TGF: Tasa Global de Fecundidad.
UNCTAD: Conferencia de Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo.
UNDESA: Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas.
UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, las Ciencias y la Cultura.
UNICEF: Fondo Internacional de Emergencia de Naciones Unidas para la Infancia.

Universidades

UTFSM: UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA	UCN: UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL NORTE
PUCCH: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE	UFRO: UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
UCH: UNIVERSIDAD DE CHILE	UAB: UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO
USACH: UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE	UDP: UNIVERSIDAD DIEGO PORTALES
UAI: UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ	UAP: UNIVERSIDAD ARTURO PRAT
UDEC: UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN	UV: UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO
PUCV: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO	ULS: UNIVERSIDAD DE LA SERENA
UBB: UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO	UACH: UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
UCSC: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN	UATA: UNIVERSIDAD DE ATACAMA

ANEXOS

Anexo N° 1: Objetivos de Desarrollo Sostenible de ONU

En 2015, La Organización de Naciones Unidas (ONU), estableció los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), como una extensión de los Objetivos del Milenio (ODM). En la Tabla A1, se muestran los ODS y su alcance. En todos ellos, la ingeniería y los ingenieros participan.

Nro.	Objetivo	Alcance
1.	Fin de la pobreza	Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo.
2.	Hambre cero	Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.
3.	Salud y bienestar	Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.
4.	Educación de calidad	Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos.
5.	Igualdad de género	Lograr la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y las niñas.
6.	Agua limpia y saneamiento	Garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y saneamiento para todos.
7.	Energía asequible y no contaminante	Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.
8.	Trabajo decente y crecimiento económico	Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos.
9.	Industria, innovación e infraestructura	Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.
10.	Reducción de las desigualdades	Reducir la desigualdad en y entre los países.
11.	Ciudades y comunidades sostenibles	Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.
12.	Producción y consumo responsables	Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.
13.	Acción por el clima	Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.
14.	Vida submarina	Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible.
15.	Vida de ecosistemas terrestres	Promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y frenar la pérdida de la diversidad biológica.
16.	Paz, justicia e instituciones sólidas	Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles.
17.	Alianzas para lograr los objetivos	Fortalecer los medios de ejecución y revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible.

Tabla A1: Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Fuente: Naciones Unidas

Anexo N° 2: Número de ingenieros graduados en diferentes países

En la tabla A2 se muestran los países que más ingenieros gradúan en el mundo. Se aprecia que el número de ingenieros en Chile resulta bajo en relación¹⁸⁴ a los demás países.

País	Graduados de Ingeniería por año (2015)
Rusia	454.000
Ucrania	130.000
Corea del Sur	147.000
Irán	233.000
Francia	104.000
Japón	168.000
Vietnam	100.000
México	113.000
Estados Unidos	237.000
Indonesia	140.000
Chile	6.448

Tabla A2: Graduados de ingeniería.

Fuente: Forbes¹⁸⁵, CIA. EE. UU.

¹⁸⁴ En la tabla se indica para Chile solamente el número de graduados de carreras de ingeniería de 10 a 12 semestres de duración, cantidad que se compara con el total de ingenieros graduados en los demás países, por lo que las cifras pueden no ser homologables. A pesar de ello, la diferencia entre el número de graduados en Chile y en otros países es significativa.

¹⁸⁵ <http://forbes.es/life/7529/los-paises-con-mas-graduados-en-ingenieria/>

Anexo N° 3: Matrícula por carrera, primer año de ingeniería (2018)

En la tabla A3 se muestra la matrícula por carreras de los alumnos que ingresan a primer año de ingeniería, en carreras de 10 a 12 semestres.

Área y sub área OCDE	Hombres	Mujeres	Total
Ciencias	2.088	273	2.361
Ciencias Físicas			
Informática	1.993	232	2.225
INGENIERÍA CIVIL EN BIOINFORMÁTICA	20	9	29
INGENIERÍA CIVIL EN COMPUTACIÓN	64	8	72
INGENIERÍA CIVIL EN COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA	356	48	404
INGENIERÍA CIVIL EN COMPUTACIÓN MENCIÓN INFORMÁTICA	131	13	144
INGENIERÍA CIVIL EN INFORMÁTICA	587	62	649
INGENIERÍA CIVIL EN INFORMÁTICA Y TELECOMUNICACIONES	84	7	91
INGENIERÍA CIVIL INFORMÁTICA	667	73	740
INGENIERÍA CIVIL INFORMATICA Y TELECOMUNICACIONES	45	6	51
LICENCIATURA EN CIENCIA DE LA COMPUTACIÓN	39	6	45
Matemáticas y Estadísticas	95	41	136
INGENIERÍA CIVIL MATEMATICA	95	41	136
Ingeniería, Industria y Construcción	8.859	3.445	12.304
Arquitectura y Construcción	443	163	606
INGENIERÍA CIVIL EN GEOMENSURA Y GEOMÁTICA	3	4	7
INGENIERÍA CIVIL EN GESTION DE LA CONSTRUCCIÓN	4	3	7
INGENIERÍA CIVIL EN OBRAS CIVILES	436	156	592
Industria y Producción	3.906	1.761	5.667
INGENIERÍA CIVIL AGRÍCOLA	29	5	34
INGENIERÍA CIVIL DE MINAS	383	154	537
INGENIERÍA CIVIL EN INDUSTRIAS DE LA MADERA	14	7	21
INGENIERÍA CIVIL EN METALURGIA	103	46	149
INGENIERÍA CIVIL EN MINAS	301	107	408
INGENIERÍA CIVIL EN MINERÍA	19	6	25
INGENIERÍA CIVIL EN PROCESOS MINERALES	3	1	4
INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL	2.634	1.258	3.892
INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL MENCIÓN BIOPROCESOS	23	20	43
INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL MENCIÓN GESTIÓN	115	36	151
INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL MENCIÓN INFORMÁTICA	44	14	58
INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL MENCIÓN MECÁNICA	45	4	49
INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL MENCIÓN SISTEMAS DE GESTIÓN		2	2
INGENIERÍA CIVIL METALURGIA	32	28	60
INGENIERÍA CIVIL METALURGIA EXTRACTIVA	49	27	76

INGENIERÍA CIVIL METALÚRGICA	112	46	158
Ingeniería y Profesiones Afines	4.510	1.521	6.031
INGENIERÍA CIVIL	1.223	527	1.750
INGENIERÍA CIVIL ACÚSTICA	26	3	29
INGENIERÍA CIVIL AEROSPAIAL	18	3	21
INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL	116	120	236
INGENIERÍA CIVIL BIOMÉDICA	77	64	141
INGENIERÍA CIVIL BIOQUÍMICA	35	47	82
INGENIERÍA CIVIL DE MATERIALES	40	7	47
INGENIERÍA CIVIL ELÉCTRICA	466	49	515
INGENIERÍA CIVIL ELÉCTRICA MENCIÓN CONTROL AUTOMÁTICO	11		11
INGENIERÍA CIVIL ELECTRÓNICA	384	35	419
INGENIERÍA CIVIL EN AUTOMATIZACIÓN	74	5	79
INGENIERÍA CIVIL EN BIOTECNOLOGÍA	6	15	21
INGENIERÍA CIVIL EN ELECTRICIDAD	120	9	129
INGENIERÍA CIVIL EN ELECTRÓNICA	81	5	86
INGENIERÍA CIVIL EN GEOGRAFÍA	21	21	42
INGENIERÍA CIVIL EN MECÁNICA	183	23	206
INGENIERÍA CIVIL EN MEDIOAMBIENTE Y SUSTENTABILIDAD	7	3	10
INGENIERÍA CIVIL EN QUÍMICA	32	40	72
INGENIERÍA CIVIL EN TELECOMUNICACIONES	44	12	56
INGENIERÍA CIVIL GEOLÓGICA	66	30	96
INGENIERÍA CIVIL MECÁNICA	555	52	607
INGENIERÍA CIVIL MECATRÓNICA	60	6	66
INGENIERÍA CIVIL OCEÁNICA	12	3	15
INGENIERÍA CIVIL PLAN COMÚN	26	7	33
INGENIERÍA CIVIL QUÍMICA	235	168	403
INGENIERÍA CIVIL TELEMÁTICA	59	7	66
INGENIERÍA Y CIENCIAS - PLAN COMÚN	533	260	793
Servicios	11	11	22
Servicios de Seguridad	11	11	22
INGENIERÍA CIVIL EN PREVENCIÓN DE RIESGOS Y MEDIO AMBIENTE	11	11	22
Total general	10.958	3.729	14.687

Tabla A3: matrícula por carreras de los alumnos que ingresan a primer año de ingeniería, en carreras de 10 a 12 semestres.
Fuente: Elaboración propia a partir de antecedentes de SIES. Ministerio de Educación.

Anexo N° 4: Ingenieros civiles titulados en por universidad (2017)

En la tabla A4 se indican las universidades habilitadas por ley para entregar el título de Ingeniero Civil, su clasificación y el número de titulados en 2017.

Universidad	Titulados 2017
Universidades Estatales CRUCH (15)	2.614
UNIVERSIDAD DE CHILE	505
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE	456
UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO	302
UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA	251
UNIVERSIDAD ARTURO PRAT	197
UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO	159
UNIVERSIDAD DE LA SERENA	150
UNIVERSIDAD DE ATACAMA	133
UNIVERSIDAD DE TALCA	123
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA METROPOLITANA	98
UNIVERSIDAD DE TARAPACA	90
UNIVERSIDAD DE ANTOFAGASTA	85
UNIVERSIDAD DE PLAYA ANCHA DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN	41
UNIVERSIDAD DE MAGALLANES	15
UNIVERSIDAD DE LOS LAGOS	9
Universidades Privadas CRUCH (9)	2.774
UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA	664
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE	583
UNIVERSIDAD DE CONCEPCION	398
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO	374
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN	266
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL NORTE	262
UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE	148
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TEMUCO	58
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL MAULE	21
Universidades Privadas (24)	1.801
UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ	429
UNIVERSIDAD ANDRES BELLO	245
UNIVERSIDAD DIEGO PORTALES	242
UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO	133
UNIVERSIDAD SAN SEBASTIÁN	121
UNIVERSIDAD MAYOR	117
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES	113
UNIVERSIDAD CENTRAL DE CHILE	98

UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS	77
UNIVERSIDAD PEDRO DE VALDIVIA	68
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHILE	38
UNIVERSIDAD DE VIÑA DEL MAR	22
UNIVERSIDAD SEK	18
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE CHILE INACAP	16
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS	14
UNIVERSIDAD BERNARDO O'HIGGINS	10
UNIVERSIDAD LA REPÚBLICA	8
UNIVERSIDAD FINIS TERRAE	7
UNIVERSIDAD GABRIELA MISTRAL	7
UNIVERSIDAD DEL MAR	6
UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA DE CIENCIAS Y TEC.	4
UNIVERSIDAD LOS LEONES	3
UNIVERSIDAD UCINF	3
UNIVERSIDAD ADVENTISTA DE CHILE	2

Totales	7.189
---------	-------

Tabla A4: Universidades habilitadas por ley para entregar el título de Ingeniero Civil, su clasificación y número de titulados en 2017.
Fuente: Elaboración propia a partir de antecedentes de SIES. Ministerio de Educación.

Anexo N° 5: Universidades, años y áreas acreditadas

En la tabla A5 se muestran las diferentes universidades, los años y áreas acreditadas.

Acreditación		Universidades		
				
7 años	Pontificia Universidad Católica de Chile	✓	✓	✓
	Universidad de Chile	✓	✓	✓
	Universidad de Concepción	✓	✓	✓
6 años	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso	✓	✓	✓
	Universidad Austral de Chile	✓	✓	✓
	Universidad Católica del Norte	✓	✓	✓
	Universidad de Santiago de Chile	✓	✓	✓
	Universidad Técnica Federico Santa María	✓	✓	✓
5 años	Universidad Adolfo Ibáñez	✓	✓	✓
	Universidad Alberto Hurtado	✓	✓	✓
	Universidad Andrés Bello	✓	✓	
	Universidad Católica del Maule	✓		
	Universidad de Antofagasta	✓	✓	
	Universidad de La Frontera	✓	✓	✓
	Universidad de Los Andes	✓	✓	✓
	Universidad de Playa Ancha de Ciencias de la Educación	✓		
	Universidad de Talca	✓	✓	✓
	Universidad de Tarapacá	✓	✓	
	Universidad de Valparaíso	✓	✓	✓
	Universidad del Bío-Bío	✓	✓	
	Universidad del Desarrollo	✓	✓	
	Universidad Diego Portales	✓	✓	
	Universidad Mayor	✓		
	Universidad San Sebastián	✓		
4 años	Universidad Academia de Humanismo Cristiano	✓		
	Universidad Arturo Prat	✓		
	Universidad Autónoma de Chile	✓	✓	
	Universidad Bernardo O'Higgins	✓		
	Universidad Católica Cardenal Raúl Silva Henríquez			
	Universidad Católica de la Santísima Concepción	✓		
	Universidad Católica de Temuco	✓	✓	
	Universidad Central de Chile	✓		
	Universidad de La Serena	✓	✓	
	Universidad de Los Lagos	✓		
	Universidad de Magallanes	✓	✓	
	Universidad de Viña del Mar			
	Universidad Finis Terrae	✓		
	Universidad Tecnológica Metropolitana	✓		

 Vinculación con el Medio

 Investigación

 Docencia de Postgrado



Vinculación con el Medio



Investigación



Docencia de Postgrado

Acreditación Universidades   				
3 años	Universidad Adventista de Chile	✓		
	Universidad de Atacama	✓	✓	
	Universidad de Las Américas			
	Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación			
	Universidad Santo Tomás			
2 años	Universidad Gabriela Mistral			
	Universidad Miguel de Cervantes			
	Universidad Tecnológica de Chile Inacap	✓		
No acreditada	Universidad Bolivariana			
	Universidad de Artes, Ciencias y Comunicación UNIACC			
	Universidad del Pacífico			
	Universidad La República			
	Universidad Pedro de Valdivia			
	Universidad SEK			
	Universidad UCINF			
Fuera de sistema	Universidad de Aconcagua			
	Universidad de Aysén*			
	Universidad de O'Higgins*			
	Universidad Los Leones			

Tabla A5: Universidades, plazos y niveles de acreditación.
Fuente: CNA, 2018.

Anexo N° 6: Centros científicos y tecnológicos de excelencia

El alcance de las actividades de los centros de investigación básica de excelencia e investigación aplicada, patrocinadas por el Programa de Financiamiento Basal para Centros Científicos y Tecnológicos de Excelencia de CONICYT que se encuentran actualmente en operación y sus funciones se indican a continuación.

Centro de Estudios Científicos (<http://www.cecs.cl>)

El Centro de Estudios Científicos (CECs) se dedica al desarrollo, fomento y difusión de la investigación científica. Se fundó en 1984, como el Centro de Estudios Científicos de Santiago y en sus inicios se integró por físicos teóricos y biólogos, que desarrollaron sus carreras académicas en el exterior y deseaban regresar a Chile para contribuir y generar un impacto en la sociedad, a través de la ciencia.

Actualmente, el Centro cuenta con 80 investigadores siendo pionero en el desarrollo de un grupo de Glaciología y Cambio Climático a escala mundial, al igual que el establecimiento de una Unidad de Genómica Funcional de alto estándar y estudio de ratones modificados genéticamente, la primera en Latinoamérica.

Centro de Modelamiento Matemático (<http://www.cmm.uchile.cl>)

El Centro de Modelamiento Matemático de la Universidad de Chile (CMM) se orienta a la creación de nuevas matemáticas, su difusión internacional, uso en la comprensión y solución de problemas complejos provenientes del sector productivo y de las otras ciencias. El CMM forma parte del Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) de Francia, el mayor centro de investigación científica de Europa.

El CMM realiza modelamientos y análisis de problemas para responder a las necesidades en diferentes áreas: minera, forestal, telecomunicaciones, transporte, educación, genoma, medio ambiente, seguridad informática y criptografía, tratamiento de imágenes y energía.

Centro de Excelencia en Astrofísica y Tecnologías Afines (<http://www.cata.cl>)

El Centro de Excelencia en Astrofísica y Tecnologías Afines (CATA) desarrolla investigaciones sobre la formación y estudio de la estructura a gran escala del Universo, evolución de galaxias y formación de estrellas y planetas extrasolares, para buscar planetas similares a la tierra que sustenten la vida tal como la conocemos. Además, el centro desarrolla tecnología de radio frecuencia, de gran relevancia en las comunicaciones del futuro.

Centro de Envejecimiento y Regeneración (<http://www.carechileuc.cl>)

El Centro de Envejecimiento y Regeneración CARE Chile UC de la Pontificia Universidad Católica de Chile, constituye una institución dedicada a la investigación básica y aplicada en biomedicina que estudia los mecanismos biológicos en las alteraciones cognitivas, distrofia muscular, alteraciones del desarrollo, proliferación descontrolada de células e hipertensión arterial, entre otras, con una orientación a la búsqueda de alternativas terapéuticas para estas enfermedades.

Fundación Ciencia para la Vida (<http://www.cienciavida.cl>)

La Fundación Ciencia & Vida representa una institución destinada a mejorar el desarrollo social y económico de Chile a través del descubrimiento científico, el emprendimiento y la educación en las ciencias biológicas.

La Fundación creó un entorno donde científicos, emprendedores, estudiantes y comunicadores interactúan y promueven el conocimiento científico, el descubrimiento y el desarrollo en las ciencias de la vida. Su visión consiste en posicionar a la ciencia como uno de los principales protagonistas de la sociedad. Por ello, promueve la formación de científicos para el futuro, construcción de redes internacionales para participar en la ciencia global, el emprendimiento basado en la biología, fortalecimiento de la educación científica en las escuelas y la estimulación del entusiasmo sobre la ciencia en la comunidad.

Unidad de Desarrollo Tecnológico de la Universidad de Concepción (<http://www.udt.cl>)

La Unidad de Desarrollo Tecnológico (UDT) de la Universidad de Concepción (UDEC) constituye un instituto dedicado a la ciencia, tecnología e innovación en el ámbito de la bioeconomía. Desde sus inicios, en 1996, se relaciona con empresas de diferentes sectores industriales, tanto en Chile como en el extranjero, para concebir proyectos, desarrollar soluciones tecnológicas y transferir resultados de investigación, desarrollo e innovación.

UDT cuenta con investigadores, profesionales y técnicos, personal propio y el apoyo de Investigadores Principales e Investigadores Asociados de la Universidad de Concepción y de otras universidades nacionales y extranjeras.

Centro para el desarrollo de la Nanociencia y Nanotecnología (<http://www.cedenna.cl>)

El Centro para el Desarrollo de la Nanociencia y la Nanotecnología (CEDENNA) apunta a convertirse en un Centro de Investigación internacionalmente competitivo en Nanociencia y Nanotecnología, cuyas principales actividades generen contribuciones significativas al conocimiento y al desarrollo de innovaciones tecnológicas derivadas de este sector, así como la formación de recursos humanos altamente calificados.

CEDENNA tendrá la capacidad de conceptualizar, diseñar y producir nanomateriales útiles con características eléctricas, mecánicas, magnéticas y ópticas que mantengan compatibilidad biológica, utilizando la tecnología de fabricación a nanoescala, según cada aplicación.

Las áreas de trabajo de CEDENNA son: Nanoestructuras Magnéticas, Química de Nanoestructuras, Física Química, Tecnología de Envases y Nanobiomedicina.

Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería (<http://www.isci.cl/>)

El Instituto de Sistemas Complejos de Ingeniería (ISCI), ubicado en la Universidad de Chile, reunió un grupo de 57 destacados investigadores, provenientes de ocho universidades chilenas: Universidad de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad de Santiago de Chile, Universidad Diego Portales, Universidad Adolfo Ibáñez, Universidad de los Andes, Universidad de Talca y Universidad de Concepción.

Este grupo se formó en 2008 con dos objetivos principales: definir un conjunto sólido de áreas de investigación de ingeniería tan coherentes como complementarias dentro de su definición general, cuyos tipos de infraestructura interactúan con el comportamiento humano. Asimismo, establecer una referencia mundial en la investigación y la educación de ingeniería fuera de los Estados Unidos y Europa, conduciendo a una mejor comprensión de los problemas relevantes, atrayendo a jóvenes investigadores del más alto nivel a sumarse a este interesante desafío.

Las áreas de trabajo del instituto son: recursos naturales, transporte, localización y logística, análisis de usuarios, ciudades inteligentes (*smartcities*), ciencia de datos (*data science*), mercados, organización y regulación y energía.

Centro Científico Tecnológico de Valparaíso (<http://www.cctval.cl/index.php/es/>)

El Centro Científico Tecnológico de Valparaíso (CCTVal), se constituyó en la Universidad Técnica Federico Santa María en 2009 y su propósito consiste en convertirse en un referente nacional e internacional en desarrollo científico y tecnológico, por medio del trabajo conjunto entre las áreas de Física de Partículas, Informática y Electrónica. Estos aportes se destinarán a la formación de especialistas e investigadores, que a su vez generen avances para facilitar el desarrollo social e industrial del país.

En este Centro se establecieron los siguientes grupos de investigación: Física Teórica de Partículas, Física Experimental de Alta Energía, Informática y Computación y Electrónica.

Centro de Óptica y Fotónica (<http://www.cefop.cl/>)

El Centro de Óptica y Fotónica de la Universidad de Concepción (CEFOP-UDEC) constituye un centro de investigación científica y tecnológica integrado por expertos en física e Ingeniería que desarrollan investigación fundamental y aplicada en las siguientes líneas: Información Cuántica; Óptica Atmosférica; Espectroscopia Fotoacústica, y Atrapamiento Óptico y Microscopía. A este equipo se suma un grupo de Ingenieros en diversas especialidades y Diseñadores Industriales orientados a la transferencia tecnológica.

Los principales objetivos del centro consisten en el crecimiento de las líneas de investigación en los campos de la Óptica y la Fotónica en Chile, y la colaboración con el sector industrial para la implementación de programas de desarrollo y transferencia tecnológica de alto impacto social y/o económico.

Centro Avanzado de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (<http://www.ac3e.cl>)

El Centro Avanzado de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (AC3E) contribuye al desarrollo tecnológico y la competitividad de la economía chilena a través de la excelencia en investigación, el intercambio de conocimiento, la formación de capital humano avanzado, además de la transferencia tecnológica en áreas de impacto social en el

campo de la ingeniería eléctrica y electrónica. Las líneas de investigación de AC3E se basan en Control y Automatización, Energías Renovables y Conversión de Potencia, Robótica, Sistemas Biomédicos, Sistemas Eléctricos, Procesamiento de Señales y Comunicaciones.

Centro de Ecología Aplicada y Sustentabilidad (<http://www.capes.cl>)

CAPES representa un centro de investigación científica y tecnológica que lidera estudios aplicados en temas ambientales relevantes para el crecimiento sostenible de Chile, en el contexto internacional de los estándares de la OCDE.

Las principales líneas de investigación son: remediación de metales pesados en medioambiente; microbiología ambiental; fisiología de la conservación y adaptación al cambio climático; dinámica poblacional y explotación de recursos, y gestión y manejo de recursos naturales en sistemas socio-ecológicos.

Centro de Biotecnología y Bioingeniería (<http://www.cebib.cl>)

El Centro de Biotecnología y Bioingeniería (CeBiB) constituye un centro de investigación de frontera compuesto por un equipo interdisciplinario de reconocida trayectoria nacional e internacional, que investiga temas claves de la biotecnología y la bioingeniería modernas, incluyendo importantes aplicaciones para la industria.

Entre sus objetivos se encuentra el desarrollo de aplicaciones prácticas basadas en áreas donde Chile cuenta con importantes ventajas comparativas, potenciando este trabajo con los intereses de la industria y las necesidades del sector público y privado, para aportar a una mejor competitividad del país desde la ciencia, la tecnología y la innovación.

Anexo N° 7: Centros de excelencia internacional

Entre los centros de excelencia internacional instalados en el país se distinguen, según sus objetivos, dos tipos: Centros Institucionales de Investigación y Desarrollo y Centros Corporativos relacionados con grandes empresas, los que se describen a continuación.

Centros institucionales

CEN Leitat Chile

El Centro de Excelencia en Nanotecnología, CEN Leitat Chile, cuenta con el apoyo del Instituto Tecnológico Leitat de España y la colaboración de la Universidad de Santiago de Chile, la Universidad Autónoma de Barcelona, la Universidad Politécnica de Valencia y el Knowledge Innovation Market de España. Inició sus actividades en Chile en 2015.

El Instituto Leitat, es una entidad reconocida en Europa con más de 100 años trabajando con la industria en España y su objetivo en Chile consiste en la vinculación de la academia con las necesidades productivas de la industria nacional, convirtiéndose en un socio tecnológico en materiales avanzados y energías renovables.

CSIRO Chile

CSIRO es un centro de investigación australiano instaurado en Chile en 2011, cuya actividad radica en la investigación orientada a mejorar la productividad de la industria minera, a través de soluciones innovadoras para asumir sus desafíos tecnológicos.

CSIRO Chile desarrolla una fuerte alianza de colaboración en investigación aplicada entre Chile y Australia, para aplicar las capacidades de CSIRO en diferentes industrias y ofrecer soluciones basadas en la innovación.

Sus actividades se desempeñan en conjunto con la Universidad de Chile, Universidad de Antofagasta, Universidad de Valparaíso y el Centro de Investigación Científico Tecnológico para la Minería (CICITEM).

Fraunhofer Chile Research - Center for Systems Biotechnology (FRC-CSB)

Este centro provee de soluciones al sector industrial, mediante el desarrollo de tecnologías innovadoras en el ámbito de la biotecnología de sistemas y su aplicación en áreas de negocios claves. Se fundó en 2010 y constituye el primer centro de investigación establecido por la Fundación Fraunhofer en Latinoamérica.

El objetivo de FRC-CSB apunta a convertirse en un centro de innovación en ciencias aplicadas, para impulsar la investigación y transferencia de tecnología en aquellas áreas relevantes para el mercado chileno y latinoamericano como agricultura, alimentación y salud humana y animal.

FRC-CSB incorporó como socio estratégico a la Universidad Andrés Bello y ejecuta proyectos con otras diez universidades.

Fraunhofer Chile Research - Center for Solar Energy Technologies

En 2015 se instaló en Chile Fraunhofer Chile Research - Center for Solar Energy Technologies, un centro de investigación y desarrollo aplicado a la energía solar que cuenta con la experiencia del Centro Fraunhofer de Alemania, el principal centro europeo de investigación y desarrollo en este campo y uno de los más importantes del mundo.

Su objetivo consiste en convertirse en referente nacional e internacional e implementar a gran escala la energía solar en los principales sectores industriales, comerciales y residenciales de Chile.

Inria Chile

Inria Chile representa una fundación sin fines de lucro, creada en 2012 por el Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique, institución pública francesa dedicada a la investigación y desarrollo de tecnologías digitales.

La misión de Inria consiste en conectar en forma eficiente y efectiva a la empresa y el mundo académico, a partir de la transferencia de soluciones tecnológicas innovadoras, basadas en la investigación y el desarrollo aplicado de las

TICs. Inria Chile tiene el propósito de convertirse en socio estratégico para el desarrollo y la transferencia de innovación tecnológica, basada en las Tecnologías de Información y Comunicaciones para Chile y Latinoamérica.

Entre las universidades chilenas colaboradoras de Inria se encuentran: Universidad de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad Técnica Federico Santa María, Universidad de Valparaíso, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Universidad de Concepción, Universidad de la Frontera y Universidad Adolfo Ibáñez.

MERIC - Marine Energy Research and Investigation Centre

El Centro de Investigación y Desarrollo de Energía Marina, MERIC, aplica sus estudios a la energía de los mares. Se instaló en Chile en 2015 y su objetivo es constituirse en un referente nacional e internacional en Energía Renovable Marina. Así apunta a contribuir al desarrollo de la economía y el impulso de un sector energético marítimo sólido, sustentable y competitivo, a través de la investigación científica, innovación y desarrollo tecnológico de excelencia.

Su visión consiste en constituir una plataforma abierta de colaboración, inclusión y aproximación transversal en energías marinas, mediante colaboraciones de alto nivel y el establecimiento de sinergia en el esquema multidisciplinario público-privado.

Sustainable Minerals Institute

El Instituto de Minería Sustentable (SMI), es de origen australiano y depende de la Universidad de Queensland. Está formado por un equipo de ingenieros y científicos que apunta a la consolidación de una nueva fuerza colaborativa de conocimiento global de minería en Chile, que forme capital humano, proporcione resultados de investigación innovadora y realice transferencias efectivas desde la tecnología a la industria.

SMI trabaja con la Universidad de Concepción como institución ejecutora. Sus proyectos abarcan diversas áreas de estudio para la industria minera, relacionadas al desarrollo sostenible como aprovechamiento eficiente de la energía, tecnologías de extracción masiva, gestión del agua y cierre de minas.

UC Davis Chile

La Universidad de California Davis (UC Davis) representa una de las universidades públicas más prestigiosas de Estados Unidos en el ámbito agrícola, forestal y veterinario. UC Davis Chile inició sus operaciones en el país en 2014 y se enfoca en los requerimientos del sector agroalimentario en cuatro áreas: desarrollo de bioproductos, adaptación al cambio climático, tecnologías de post cosecha viticultura y enología.

UC Davis Chile entrega al mercado y la sociedad, soluciones tecnológicas a través de la implementación de una plataforma de investigación colaborativa, desarrollo de tecnologías disruptivas y transferencia de aplicaciones eficientes y eficaces en el sector agroalimentario.

Centros corporativos

Centro de Excelencia en Medicina de Precisión

En 2014 el Centro de Excelencia en Medicina de Precisión (CEMP) inició sus operaciones en Chile, siendo el primer centro de biomedicina instalado por la empresa Pfizer en Latinoamérica. Esta institución se orienta a la investigación de la medicina de precisión y a la validación de nuevas tecnologías de diagnóstico más sensibles y menos invasivas.

El centro apunta a ser reconocido como un referente en la región para el estudio de tecnologías de diagnóstico molecular dentro del campo de la medicina de precisión, que desarrolla ciencia de frontera y contribuye a la formación de capital humano de excelencia.

Emerson Center of Excellence

En 2013 se estableció en Chile el Centro de Excelencia Internacional de Emerson, el único de esta empresa dedicado exclusivamente a la investigación aplicada y al desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas de automatización para procesos en minería.

Este centro posee la visión de ser reconocido como referente en minería y metales, por contribuir principalmente a impulsar un sector más productivo, seguro, eficiente, sustentable y competitivo, mediante investigación, desarrollo, transferencia tecnológica y comercialización de alto impacto económico.

Laborelec Chile SpA

En 2014, Laborelec inició sus operaciones en Chile. Se trata de un centro líder en investigación tecnológica del área de la energía eléctrica. Actualmente esta empresa forma parte de Engie, su sede principal se ubica en las cercanías de Bruselas y cuenta con sucursales en los Países Bajos, Alemania y Medio Oriente.

Como visión, Laborelec se compromete a crear mediante su experticia técnica, valor agregado para sus clientes que derivan desde el ahorro de costos, prevención de fallas, reducción de riesgos hasta mejoras en la eficiencia, disponibilidad y seguridad de las instalaciones de energía a través de soluciones innovadoras y probadas en el campo de la energía.

Telefónica Investigación y Desarrollo Chile

En 2014, inició sus operaciones en Chile el Centro de Investigación y Desarrollo (CID) de Telefónica Chile. Este representa un centro enfocado en las tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) con aplicación a nivel industrial y de las personas.

Entre sus objetivos específicos se encuentran la generación de tecnología para IoT con foco en tres sectores: minería, agroindustria y ciudades. CID busca el reconocimiento como referente en el país y el mundo como una organización que desarrolla tecnologías de punta que resuelven problemas complejos y reales, empoderando a las personas en el mundo digital.

Anexo N° 8: Centros tecnológicos en focos prioritarios

Los centros tecnológicos en áreas prioritarias son los siguientes:

CETA – Centro Tecnológico para la Innovación Alimentaria

El Centro Tecnológico para la Innovación Alimentaria (CETA), cuyo objetivo general consiste en el fortalecimiento de las capacidades tecnológicas y empresariales en materia de producción de alimentos saludables, dinamizando el proceso de generación de productos de alto valor en la industria mediante el desarrollo y escalamiento comercial de nuevos ingredientes y alimentos saludables.

CETA propone ser un centro nacional e internacional, referente de innovación en alimentos para generar mayor valor agregado en el sector. Asimismo, proveer tecnologías y articular capacidades para mejorar la cadena de producción de alimentos, uniendo la academia con el sector empresarial con investigación, desarrollo e innovación.

CETA se integra con la Universidad de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad de La Frontera, Universidad de Talca, Fundación Fraunhofer Chile Research y Fundación Chile. Posee las siguientes áreas de trabajo:

- Desarrollo de ingredientes / insumos saludables y funcionales.
- Desarrollo de alimentos funcionales saludables.
- Desarrollo de empaque (Packaging / Smart packaging).
- Inocuidad y Trazabilidad alimentaria.
- Valorización de insumos / desechos y alimentos patrimoniales.

AquaPacífico - Centro de Innovación Acuícola

AquaPacífico representa un Centro de Innovación Acuícola que surgió de la alianza de dos instituciones con largo tiempo desarrollando actividades en este ámbito: la Universidad Católica del Norte (UCN) y Fundación Chile (FCh).

AquaPacífico fomenta la acuicultura de pequeña escala mediante la implementación de una plataforma científico-tecnológica de vanguardia, que generará procesos de investigación y desarrollo innovadores, con el objeto de incrementar la demanda y transferencia de tecnología acuícola sostenible hacia las empresas del sector.

AquaPacífico se orienta a asociaciones de pescadores artesanales, a pequeños y medianos emprendedores con el fin de apoyar a las comunidades costeras, ofreciéndoles alternativas para aumentar la productividad en las caletas.

CENS – Centro Nacional en Sistemas de Información en Salud

En el sistema de salud de Chile existen diferentes actores que funcionan de manera aislada y desconocen las necesidades y experiencias del resto de los miembros del esquema sanitario. Resulta necesario un esfuerzo conjunto para construir una mejor salud para la población. El Centro Nacional en Sistemas de Información en Salud (CENS) integra a la Universidad de Chile, Universidad Católica, Universidad de Talca, Universidad de Concepción y Universidad de Valparaíso que optimizan la conexión entre el sistema de salud y el resto de redes sanitarias operativas, para brindar una mejor atención y calidad de vida de los pacientes.

CENS presenta las siguientes áreas de trabajo:

- Adopción de estándares consensuados de interoperabilidad y trabajo colaborativo.
- Formación y perfeccionamiento de profesionales dedicados a tecnología y salud.
- Certificación y validación de softwares para los desarrollos del área.
- Vigilancia tecnológica permanente.

CTEC – Centro Tecnológico para la Innovación en Construcción

El Centro Tecnológico para la Innovación en la Construcción, CTEC, contribuye al proceso de transformación de la industria de la construcción nacional para convertirla en un referente internacional, aportando en la dinamización de demanda y en la transferencia de tecnología aplicable para mejorar la productividad y sustentabilidad del sector.

CTEC se integra por las universidades de Chile, Antofagasta, La Serena, Santiago de Chile y Tecnológica de Chile INACAP y cuenta con el apoyo de CDT, IC, SCX, Ruta Solar y MINVU y de prestigiosos centros tecnológicos internacionales BRE (UK), Tecnalia (España) y Eurecat (España).

CTEC apunta a:

- Establecer las tendencias de innovación tecnológicas futuras de la industria nacional a través de herramientas de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva, adelantando la gestión del riesgo tecnológico.
- Fomentar el desarrollo de capacidades profesionales e inserción de capital humano avanzado en la industria.
- Apoyar técnicamente el desarrollo de políticas públicas para el sector de la construcción.

CIPYCS - Centro Interdisciplinario para Productividad y Construcción Sustentable

CIPYCS dirige sus objetivos a proveer servicios, desarrollar innovaciones y generar nuevo conocimiento transferible a través de la difusión tecnológica para mejorar la productividad y sostenibilidad de la industria de la construcción, además de potenciar la I+D+i.

Este Centro nace de la alianza estratégica entre las siguientes universidades: Pontificia Católica de Chile, del Bío-Bío, Católica del Norte y de Talca. El CIPYCS coloca a disposición de la industria más de 120 investigadores en 4 laboratorios únicos en el país:

- PEP[Lab] para el prototipado de elementos, desde escala reducida hasta lotes de producción en líneas productivas para maderas, hormigones y elementos reciclados.
- EVI[Lab] para el diseño y construcción virtual, levantando información en terreno y la generación de espacios virtuales inmersivos y de realidad aumentada que faciliten el diseño, operación y entrenamiento.
- IMA[Lab] para el prototipado a escala real, que prueba soluciones constructivas y procesos de montaje. Evaluar el desempeño en régimen de elementos bajo condiciones reales y analizar el desempeño dinámico de estructuras frente a sismos.
- Observatorio VISTA para el análisis continuo de la productividad y construcción sustentable, monitoreando y capturando información relevante de la oferta y demanda de la construcción sostenible, el desempeño de proyectos reales, las tendencias en construcción y las necesidades de política pública.

CNP – Centro Nacional de Pilotaje

El Centro Nacional de Pilotaje (CNP) posee como propósito fortalecer las capacidades de infraestructura, tecnológicas y de recursos humanos en materia de validación de tecnologías para la minería a escala industrial. Además, impulsa el desarrollo de capacidades tecnológicas, fortalecimiento del capital humano, de capacidades de vigilancia tecnológica, desarrollo de clientes y sustentabilidad financiera. Se trata de un proyecto impulsado por las universidades de Chile, Católica, Federico Santa María, Antofagasta y la Asociación de Empresas para la Innovación, Minnovex.

El proyecto incentiva en las empresas proveedoras, mineras y de base tecnológica, desarrollar las capacidades de pilotaje, testeo y validación a escala industrial. Para ello, contará con expertos y sitios de pruebas y seguirá el proceso de pilotaje de tecnologías, aplicando estándares y procedimientos reconocidos a nivel nacional y con referencia internacional.

CIPTMIN - Centro Integrado de Pilotaje de Tecnologías Mineras

El Centro Integrado de Pilotaje de Tecnologías Mineras (CIPTMIN) cubre una brecha en los procesos de desarrollo tecnológico e innovación de Chile, como pilotar, validar y certificar tecnologías que se desarrollan en instituciones de generación de conocimientos, como las universidades o centros de investigación.

CIPTMIN se integra por cinco universidades: Universidad Católica del Norte, Universidad de Santiago de Chile, Universidad Adolfo Ibáñez, Universidad de La Serena y Universidad Tecnológica de Chile, Inacap. También posee el apoyo de Fundación Inria Chile, Fundación Leitat Chile; y Asmin, además de una administradora de fondos de inversión: Genesis Partners S.A.

Anexo N° 9: Programas tecnológicos estratégicos

Los programas tecnológicos estratégicos actualmente en operación, se describen a continuación.

IFAN: Ingredientes funcionales y aditivos naturales

El programa IFAN constituye una iniciativa pública – privada. Nace de la alianza entre la industria de alimentos y la academia, con el objeto desarrollar nuevos Ingredientes Funcionales y Aditivos Naturales con materias primas chilenas. Contribuye a la diversificación y sofisticación de la oferta de la industria nacional de alimentos, potenciando su participación en los mercados globales.

El programa IFAN busca la obtención de ingredientes funcionales y aditivos naturales para comercializarlos a escala nacional e internacional, entre el trabajo colaborativo de la industria y la academia, aunado al permanente desarrollo tecnológico, entregándole un alto valor agregado a las materias primas y recursos naturales disponibles en Chile.

La visión de IFAN consiste en el reconocimiento y establecimiento de un amplio prestigio internacional con base a la sofisticación y tecnología incorporada en una amplia familia de ingredientes funcionales y aditivos naturales que se distribuyen en todo el mundo.

Co-inventa: Envases inteligentes

Co-Inventa constituye una plataforma de Innovación abierta de envases y embalajes que, mediante un trabajo mancomunado, vincula la academia y el sector privado para responder a reales necesidades y usos prácticos en envases y embalaje de alimentos. Esta iniciativa persigue tres objetivos principales: integrar servicios especializados de investigación, innovación y desarrollo del envase y embalaje de alimentos; crear un portafolio de prototipos de envases activos e inteligentes para las necesidades del mercado y ejecutar un modelo de gestión y gobernanza colaborativa.

Los centros tecnológicos que conforman Co-Inventa están liderados por el Laboratorio de Envases y Embalajes (LABEN), de la Universidad de Santiago; el Centro Regional de Estudio en Alimentos Saludables (CREAS); las Facultades de Ciencias Químicas y Farmacéuticas; agronomía e INTA de la Universidad de Chile; las Facultades de diseño e ingeniería de la PUC, la Facultad de Diseño de la Universidad de Talca y el Programa Tecnológico de Envases (PROTEN) de la UTEM. Co-Inventa cuenta además con el apoyo de la Asociación de Empresas de Alimentos de Chile “ChileAlimentos” y la Asociación de Industriales del Plástico “ASIPLA”.

Fruticultura zona norte

El consorcio Biofrutales se constituyó en 2006, en el marco del Programa Bicentenario de Ciencia y Tecnología (PBCT), con el objetivo de satisfacer la necesidad de la industria frutícola de nuevas y mejores variedades. Se conforma de 13 socios, entre los cuales se encuentran universidades e instituciones tecnológicas, empresas y asociaciones gremiales

La misión del consorcio consiste en crear y desarrollar nuevas variedades frutales mediante mejoramiento genético convencional. Asimismo, incorporarlas al sector privado para su comercialización por medio de escalamiento y transferencia.

El consorcio opera en un modelo de innovación abierta, ejecutando proyectos de forma colaborativa y coordinada, cuyos resultados apuntan a la industria frutícola.

Fruticultura del Sur

Su objetivo consiste en incrementar la I+D+i en el ámbito frutícola en Chile, mediante la ejecución articulada de portafolios de proyectos con visión a largo plazo, que cierren las brechas en ámbitos específicos del desarrollo frutícola para mejorar la productividad del sector. También, diversificar y sofisticar el tejido productivo.

El Centro para la Investigación e Innovación en Fruticultura para la Zona Sur, Fruticultura del Sur, es liderado por la Universidad de Chile en asociación con Copefrut S.A, Frutícola Agrichile, Bio-Bee Chile S.A, Chemie, Delsantek S.A., Viveros Nueva Vid Limitada, Redagrícola Comunicaciones, Biocea y Martínez & Valdivieso S.A. En calidad de co-ejecutores se encuentran la Universidad de La Frontera, Universidad de Concepción, Universidad Austral de Chile, CEAF e INIA.

Acuicultura Oceánica

El objetivo principal del Programa Tecnológico “Consortio para la Acuicultura Oceánica” consiste en adoptar y/o adaptar tecnologías habilitantes para el desarrollo de la Acuicultura Oceánica. Esta iniciativa apunta a explotar dichas zonas de cultivo, propiciando la creación y fortalecimiento de proveedores locales, con la finalidad de crear un tejido industrial sofisticado. Esto se orienta a la provisión de bienes y servicios en Chile y el extranjero, contribuyendo a la competitividad y posicionamiento internacional de la industria acuícola nacional.

Para ello, se creará un plan de transferencia tecnológica con énfasis en el encadenamiento regional, que escale las tecnologías relacionadas a sistemas de cultivo oceánicos, mediante inversión privada nacional o extranjera, alianza entre empresas de otros países con proveedores locales u otras alternativas.

Interoperabilidad en minería

La Minería enfrenta un problema de incompatibilidad entre las tecnologías de monitoreo, automatización y robótica utilizadas en distintas faenas mineras. Esto significa que una faena puede utilizar una tecnología perteneciente exclusivamente a un proveedor, siendo muy alto el costo de reemplazo. Para solucionar estos problemas operativos, se requiere desarrollar estándares de Interoperabilidad, de manera que ingresen nuevos proveedores.

Este contexto origina el “Programa tecnológico para la creación y adopción de estándares internacionales para interoperabilidad minera”, programa que apuesta al impulso de una minería inteligente, digitalizada y colaborativa.

El proyecto es ejecutado por Fundación Chile y tiene como socios estratégicos a Codelco y BHP Billiton y como co-ejecutores a CSIRO y CodelcoTech.

Programa de Monitoreo en Línea de Relaves

Este programa considera el desarrollo de un sistema de monitoreo en línea de los depósitos de relaves que transmita, procese y despliegue los indicadores de su desempeño, estabilidad física y química.

En este sentido, incorpora a las mejores tecnologías disponibles para la medición de parámetros y variables críticas y una plataforma de gestión de información para comunicar los datos a las autoridades, compañías mineras y comunidad en tiempo real. Además, cuenta con un sistema de alerta temprana que se activa ante eventuales emergencias.

El proyecto constituye una iniciativa público-privada liderada e implementada por Fundación Chile y financiada con el aporte de las compañías mineras AMSA, Codelco y BHP, además de diversas organizaciones públicas y privadas del sector minero.

Recuperación de valor de relaves

Chile posee los tranques de relaves más grandes del mundo, cuyos contenidos son: residuos de cobre, molibdeno y hierro, además de tierras raras. Los tranques de relave se consideraron históricamente pasivos ambientales. Existe actualmente tecnología que transformaría estos pasivos en activos. Por ello, Corfo impulsa el programa “Recuperación de Elementos de Valor desde Relaves”, que forma parte del Programa Nacional de Minería Alta Ley.

En el marco de este programa, Corfo adjudicó a dos consorcios las tareas. El primero, integrado por las empresas: EcoMetales y JRI, identifica elementos de valor, particularmente tierras raras para luego definir las tecnologías más adecuadas para su procesamiento. El segundo, formado por CodelcoTech, Minera Valle Central, AMTC de la Universidad de Chile y Solvay Chile, evalúa la adopción y/o desarrollo de tecnologías técnica y económicamente viables para recuperar los elementos de valor.

AtaMoS-TeC - Atacama Module and System Technology Center

El proyecto AtaMoS-TeC apunta a desarrollar tecnologías fotovoltaicas adaptadas a las condiciones excepcionales del Desierto de Atacama: alta radiación; gran promedio de horas de sol; clima árido; cielos casi sin nubosidad y baja temperatura ambiente, entre otras.

Este programa será ejecutado por la Universidad de Antofagasta y en calidad de co-ejecutoras participan tres instituciones extranjeras: CEA INES (Francia), ISC Konstanz (Alemania) y Fraunhofer Chile. En calidad de asociados participan un gran número de empresas que aportan financiamiento y trabajo conjunto: Adrox Spa, Borg, Cintac,

Colbún, Ecoenergías, Ecovisión, Fotcast, Geogrow Spa, Innova Renovable, Mondragón, New Energy, Novalquimia, Phibrand S.A., Snare, Solarpro, Solcor, Syntec, Tecno Andina, Venergía y Vidrios Lirquén S.A., entre otras.

Como resultado de este avance tecnológico se espera reducir el costo de la energía a un valor de 25 US\$/MWh al 2025, y generar una industria propia que provea de bienes y servicios a la industria chilena y para exportación.

Combustión dual Hidrógeno-Diésel en Vehículos y Equipos en Operación Minera

Este proyecto busca adaptar la operación de los camiones de extracción minera hacia una combustión que combine hidrógeno y diésel. Para ello se realizarán ensayos, prototipos industriales y pruebas en condiciones industriales reales.

Esta iniciativa la encabeza el consorcio Alset Ingeniería SpA y en ella participan la Universidad de Santiago de Chile, Pontificia Universidad Católica, NTT Data-Institute of Management Consulting (de Japón), Compañía Minera del Pacífico, BHP Chile, Anglo American Sur y Engie Chile y cuenta con el apoyo de Hydrogenics (Canadá) y Acciona Energía Chile.

Celdas de combustible de hidrógeno para camiones mineros

Este proyecto abordará el desafío de adaptar los equipos móviles utilizados en minería, como cargadores frontales en minería subterránea, a la electromovilidad, utilizando como combustible celdas de hidrógeno. El proyecto evaluará, a escala de laboratorio, el desempeño de las celdas de combustibles emulando las condiciones reales de operación para en una etapa posterior efectuar su aplicación en terreno. También realizará pruebas en vehículos mineros.

El proyecto será ejecutado por el consorcio liderado por la Universidad Técnica Federico Santa María, con la participación del Centro Nacional del Hidrógeno (CNH2-España), Ballard Power Systems (Canadá), Agencia Chilena de Eficiencia Energética (Achee), Fundación Hidrógeno del Aragón (España) y Linde. Esta iniciativa además cuenta con el apoyo, en calidad de interesados, de NEL Hydrogen, Capital SA Administradora General de Fondos (Aurus), Asociación Chilena de Energía Renovable (Acera), Sociedad Nacional de Minería (Sonami), Metalpar, Bozzo Energy, Siemens, Collahuasi y Codelco.

Anexo N° 10: Metodología de trabajo

Aspectos generales

El proceso de generación de la visión de la Academia consideró la selección de antecedentes, entrevistas, consultas y encuestas sintetizadas en un documento, posteriormente complementado y contrastado con estudios e informes preparados por organismos nacionales, internacionales y consultores especializados.

Los resultados arrojados se destinaron a los miembros de número de la Academia para que emitieran su opinión, también incorporada en el documento final.

Los principales aspectos de la metodología de trabajo, se indican a continuación:

Entrevistas, consultas y encuestas

Se realizaron dos actividades para levantar información: entrevistas o consultas selectivas a los Miembros de Número de la Academia de Ingeniería y a ingenieros destacados, además de consultas en línea.

Las entrevistas o consultas selectivas se orientaron a ingenieros de diferentes áreas, con fuerte injerencia de la ingeniería como: universidades, asociaciones gremiales y profesionales, entidades gubernamentales, empresas productivas y de servicios, empresas consultoras en ingeniería y también a profesionales especialistas, considerados referentes en sus respectivas áreas.

Las consultas en línea se dirigieron a un grupo representativo de ingenieros que se desenvuelven en diferentes ámbitos: universidades, empresas privadas, gobierno, en diversos cargos y con distintas edades. Los resultados obtenidos se dividieron en dos grupos. El primero corresponde a los resultados del total de los encuestados (448); y el segundo a un sub-grupo formado por ingenieros titulados en las universidades más tradicionales (216). Estos últimos se relacionan con las siete universidades, cuyos egresados pueden incorporarse como socios del Instituto de Ingenieros de Chile: Universidad de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad de Concepción, Universidad de Santiago, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Universidad Técnica Federico Santa María y Universidad Diego Portales.

Estudios e informes

La información levantada en entrevistas o consultas selectivas y en consultas en línea se contrastó con estudios realizados por la *National Academy of Engineering* de Estados Unidos (NAE), *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), Instituto de Ingenieros de Chile y consultores especializados, generándose luego un primer documento de trabajo, sobre el cual la Academia emitió su opinión.

Limitaciones de la metodología

La metodología empleada permite conocer la opinión de los ingenieros que ejercen la profesión. Sin embargo, resulta necesario tener una visión más completa, para ello conviene contar con el complemento de los resultados obtenidos con otra técnica que aborde las categorías de desafíos y problemas relevantes del país, los cuales pueden ser afrontados por la ingeniería.

Anexo N° 11: Programa Chiletransforma¹⁸⁶

El Programa Chiletransforma cuenta con el desafío del mejoramiento de la competitividad en la economía a través del desarrollo de sectores estratégicos: Minería, Turismo, Alimentos, Economía creativa, Construcción, Pesca y acuicultura, Salud y la habilitación de plataformas en Logística, Industria solar, Industrias inteligentes y Manufactura Avanzada. Son sectores en los que la ingeniería y los ingenieros participan en mayor o menor grado.

A continuación, las principales razones y expectativas del Estado al elegir estas industrias:

Minería

Chile constituye un país eminentemente minero, al poseer el 31% de las reservas mundiales de cobre y representar su producción el 37,6% de las exportaciones mundiales. La minería posee las condiciones necesarias para apoyar el surgimiento de un ecosistema robusto de innovación y avanzar hacia una economía capaz de exportar conocimiento.

El Estado persigue a través de este proyecto:

- Incrementar el nivel de producción de cobre y otros minerales.
- Reducir los costos de producción.
- Desarrollar empresas proveedoras de clase mundial.
- Incrementar las exportaciones de bienes y servicios asociados a la minería.

Turismo

Este representa uno de los sectores más dinámicos de la economía nacional. Además de su contribución económica, constituye una industria que potencia el desarrollo local, el cuidado del medioambiente y la difusión de una imagen atractiva de Chile en el exterior. El número de turistas extranjeros que visita nuestro país creció sostenidamente durante la última década. La Organización Mundial de Turismo estima que la demanda mundial seguirá aumentando, en especial en turismo sustentable.

A través de este programa el Estado busca para este sector:

- Incrementar los niveles de sustentabilidad (sello S) y calidad (sello Q) de la industria turística, aumentando el número de establecimientos certificados en cada categoría.
- Impulsar la innovación y el desarrollo tecnológico como factor para elevar la creación de nuevos emprendimientos.
- Ampliar los conocimientos necesarios para diversificar y agregar valor a la oferta turística.
- Favorecer la articulación entre los actores públicos y privados con otros programas estratégicos en turismo, también con otros sectores productivos.

Alimentos

El 23% de las exportaciones nacionales corresponden a la industria de alimentos, cifra que la posiciona como la segunda actividad más importante en el país, después de la minería. El 31% de las empresas chilenas pertenecen al rubro de alimentos y un 23% de los empleos se generan en este sector. Chile cuenta con una participación de 1,16% en el mercado mundial de alimentos, fuera del grupo de los diez mayores exportadores. Países que poseen similar superficie cultivable por habitante que Chile, se ubican entre los primeros lugares de ese ranking. Nuestro país posee condiciones fitosanitarias y agroclimáticas muy favorables y disponibilidad de energías renovables que otorgan una ventaja para posicionarlo como líder mundial en alimentos saludables y sustentables.

A través de este programa el Estado busca para este sector:

- Incorporar valor agregado para el posicionamiento competitivo en los mercados internacionales.
- Responder a la demanda de requerimientos de calidad, inocuidad, trazabilidad alimentaria y restricciones normativas y legales.
- Generar mayor relación entre los centros de investigación y desarrollo (I+D), universidades, y el tejido empresarial de la industria de alimentos.

¹⁸⁶ Los antecedentes de este anexo han sido sintetizados, a partir de la información disponible en el portal www.chiletransforma.cl

- Mejorar la infraestructura y recursos para investigación, desarrollo e innovación (I+D+i).
- Aumentar la oferta e inserción de capital humano avanzado en la industria.

Economía creativa

Este sector forma parte de las industrias con el potencial de fomentar el crecimiento económico, la creación de empleos y ganancias de exportación, conjuntamente con la inclusión social, la diversidad cultural y el desarrollo humano¹⁸⁷ (UNCTAD, 2010).

La Economía Creativa en Chile, como actividad económica, se relevó por primera vez en 2007 cuando la Comisión Nacional de Innovación y Competitividad (CNIC) la consideró uno de los 31 sectores priorizados por la estrategia de innovación y competitividad. Desde ese momento, CORFO y el Consejo Nacional de Cultura y las Artes (CNCA) se convirtieron en actores activos de su promoción con relevantes aportes del Ministerio de Relaciones Exteriores.

A través de este programa el Estado busca para este sector:

- Incrementar el número y volumen de ventas, además de exportaciones de las empresas de este sector.
- Aumentar el número de carreras creativas impartidas a lo largo del país.
- Generar nuevos puestos de trabajo.

Construcción

La construcción representa un sector relevante en la economía nacional. En 2012 el mercado alcanzó aproximadamente US\$29.900 millones de inversión anual, de los cuales un 35% corresponde a edificación residencial y no residencial. Incorporar la sustentabilidad como factor adicional de competitividad y disponer de sistemas de gestión integrada de proyectos, optimizará el valor del activo inmobiliario y permitirá reducir costos de operación, generar conocimiento asociado y mejorar la calidad de vida de las personas, equilibrando aspectos sociales, económicos y medioambientales.

A través de este programa el Estado busca para este sector:

- Reducir los costos de producción.
- Incrementar la inversión privada de I+D y la tasa de innovación.
- Aumentar el número de edificaciones nuevas sustentables.
- Disminuir el consumo energético residencial y las emisiones de CO₂.
- Incrementar el valor de las exportaciones de productos de madera.
- Aumentar las exportaciones de diseño e ingeniería de consultoría.

Pesca y acuicultura

El sector pesquero presenta problemas de estancamiento productivo debido a la sobreexplotación de los recursos naturales y a la merma de la pesca industrial y artesanal. La acuicultura, por otra parte, registró un dinamismo importante en muchos países. En el nuestro, la producción acuícola alcanzó un crecimiento notorio, interrumpido a causa de los perjuicios ocasionados por el virus ISA y el florecimiento de algas nocivas. La producción de salmones aún cuenta con gran importancia económica para Chile y genera un aporte relevante en la creación de empleo. En este sector, la innovación y la tecnología cumplen un rol fundamental porque amplían y hacen más sofisticada la oferta con productos y procesos generados bajo criterios de sustentabilidad.

A través de este programa el Estado busca para este sector:

- Desarrollar productos y mercados que respondan adecuadamente al escenario actual.
- Favorecer la migración de las empresas y actores involucrados desde el modelo de ingresos por volumen al de mayores precios en mercados de nicho.
- Minimizar el riesgo de pérdida de las cuotas de mercado ante la exigencia de mayores estándares de sustentabilidad por parte de los consumidores.

¹⁸⁷ UNCTAD 2010, Economía Creativa, una opción factible de desarrollo.

Salud

El gasto en salud representa cerca del 8% del PIB y crece constantemente. Esa cifra corresponde a una demanda que posee un alto grado de sofisticación tecnológica y carece de capacidad para absorber los requerimientos actuales del sistema, a pesar de los grandes avances en salud pública en la incorporación de infraestructura habilitante que suma tecnología e innovación.

Uno de los aspectos claves para el desarrollo del sistema sanitario radica en la inclusión de esquemas, que permitan la interoperabilidad entre distintas soluciones tecnológicas y la disposición de una infraestructura digital con bajas latencias para el avance de la telemedicina.

A través de este programa el Estado busca para este sector:

- Establecer la interoperabilidad de las tecnologías en salud como un elemento fundamental para el desarrollo del proyecto de ficha clínica electrónica única.
- Establecer un ente autónomo que certifique la interoperabilidad, adaptabilidad y calidad.
- Desarrollar nuevos proveedores, para evitar monopolios que resultaron nocivos para el sistema.
- Incorporar la digitalización y la interoperabilidad como requisito fundamental de todas las compras públicas.
- Contar con un repositorio único de datos en salud, y mediante este sistema la disponibilidad de una ficha clínica electrónica.

Logística

El sector logístico de Chile logró una posición de liderazgo en la región latinoamericana, siendo una plataforma fundamental para el desarrollo exportador del país. Nuestra actual plataforma de logística y transporte cada vez resulta menos competitiva. Para mantener su posición de liderazgo, la nación requiere urgentemente de modernizaciones que, mediante una visión integral del sistema exportador, aumente la eficiencia de su logística, asegure una integración más armónica con el territorio y alcance una calidad mundial de sus recursos humanos.

A través de este programa el Estado busca para este sector:

- Optimizar la inversión y utilización de infraestructura y activos logísticos.
- Mejorar la predictibilidad, confiabilidad, calidad y eficiencia de la cadena logística.
- Contar con una cadena logística social y ambientalmente sustentable.
- Potenciar la logística como generadora de valor en los productos de exportación.
- Generar condiciones que impulsen exportación de productos y servicios logísticos.
- Desarrollar proveedores de servicios logísticos con alto nivel de sofisticación.
- Desarrollar capital humano avanzado e investigación y conocimiento de punta.

Industria solar

El Desierto de Atacama posee abundantes recursos naturales, cuya radiación solar resulta la más alta del planeta. En el norte se cuenta con una industria solar orientada a desarrollar aplicaciones específicas para las condiciones climáticas particulares del desierto, a través de iniciativas de I+D+i que aprovechen este recurso en todo su potencial de generación de energía eléctrica y térmica. La energía solar posee el potencial para convertirse en el motor de la transformación productiva del país.

A través de este programa el Estado busca para este sector:

- Ejecutar inversiones en tecnologías solares, fotovoltaica (FV), concentración solar de potencia (CSP) y aplicaciones térmicas.
- Aprovechar la gran radiación solar existente en el Desierto de Atacama.
- Crear una industria local sólida e innovadora para las exigentes condiciones climáticas de zonas desérticas, asegurando la durabilidad y el funcionamiento de estos sistemas.

Industrias inteligentes

Las tecnologías digitales poseen un gran potencial para modernizar y transformar los sectores productivos al incorporar a los procesos de tecnologías de información, comunicación y análisis y procesamiento de datos. Esta es

una tendencia internacional conocida como “Industrias 4.0”, en la que servicios como *Big Data*, *Cloud Computing*, Seguridad, Almacenamiento, Redes de Sensores, Movilidad, y Robóticas resultan fundamentales para mejorar los factores productivos de la industria, como la competitividad, el valor agregado de productos y servicios, la excelencia operacional o la exportación.

A través de este programa el Estado busca para este sector:

- Contribuir a la productividad y la valorización de las industrias nacionales, con foco en los desafíos productivos de sectores con alto potencial.
- Priorizar y seleccionar los sectores industriales para trabajar de forma colaborativa, impulsando la promoción sistemática y especializada de la industria nacional.
- Desarrollar un ecosistema digital habilitante, transformando a la industria nacional de tecnologías de información, comunicación, automatización y robótica en un sector proveedor de soluciones digitales que impacten la productividad y eficiencia de las empresas nacionales.
- Facilitar la coordinación entre la oferta tecnológica y la demanda industrial con mecanismos públicos - privados que dinamicen el mercado.

Manufactura avanzada

La manufactura avanzada representa una solución directa a los problemas de la industria tradicional del país. A su vez, ésta constituye una realidad latente en el mundo que localmente debemos abordar. Esto implica trabajar en la fabricación de productos de altas especificaciones técnicas – servicios de alto valor, logística, software, entre otros. Así, se generarán nuevos modelos de negocios con mayores niveles de sofisticación, eficiencia y satisfacción.

Este sector posee la capacidad de maximizar el crecimiento y diversificación productiva del país por medio de la incorporación de nuevas tecnologías y modelos de negocio, para una transformación desde la manufactura tradicional a una avanzada.

A través de este programa el Estado busca para este sector:

- Canalizar el desarrollo de la industria Manufactura Avanzada en Chile, corrigiendo fallas de coordinación.
- Revertir la tendencia a la baja de la participación de la Manufactura en el PIB.
- Aumentar los ingresos para empresas y trabajadores.

Anexo N° 12: Proyecto MECESUP¹⁸⁸

El programa de Mejoramiento de la Calidad y la Equidad en la Educación Terciaria (MECESUP), se originó a partir de un acuerdo suscrito entre el Gobierno de Chile y el Banco Mundial (Préstamo N° 4404-CH), que reemplazó el Fondo de Desarrollo Institucional, sistema de asignación de recursos basados en criterios históricos por un Fondo Competitivo. Entre los aspectos considerados para la asignación de recursos al sistema terciario destacan: planificación estratégica, información para la toma de decisiones basada en evidencia e indicadores de desempeño, entre otros.

En su inicio, este programa consideró el mejoramiento académico y de infraestructura en las 25 universidades del Consejo de Rectores de Universidades Chilenas (CRUCH). Asimismo, el diseño e implementación de un proceso voluntario de acreditación de programas e instituciones.

La inversión inicial comprometida alcanzó los US\$245 millones y los gastos elegibles consideraron el desarrollo y la capacitación del personal académico avanzado; modernización de bibliotecas y construcción de otros espacios para los estudiantes; gestión de información y conocimiento; integración de tecnologías de información y comunicaciones a los procesos de enseñanza-aprendizaje; nuevo equipamiento de laboratorio; modernas salas de clases y uso de multimedia, y becas para los programas de doctorado e investigación.

Primera etapa (1999-2005)

En la primera etapa del Programa MECESUP, el gobierno chileno invirtió en infraestructura académica para mejorar la docencia y el aprendizaje estudiantil, con la renovación y modernización de bibliotecas, salas de clase, laboratorios y servicios estudiantiles. Este acuerdo mejoró la rendición de cuentas (*accountability*) en el uso de los recursos públicos para la educación superior. Algunos de los criterios considerados para adjudicar los recursos fueron: el impacto de los servicios prestados en los estudiantes; la coherencia entre los proyectos presentados y los planes de desarrollo de cada institución y la disponibilidad de recursos humanos necesarios para implementarlos.

El Fondo Competitivo apoyó la implementación de casi 400 proyectos, con un promedio de inversión de US\$ 550.000 por iniciativa. El mayor porcentaje de recursos destinados al mejoramiento del pregrado, 70%, se asignó a universidades regionales, 20% del presupuesto se invirtió en potenciamiento y desarrollo de programas nacionales de doctorado y un 10% se destinó a la modernización de centros de formación técnica para mejorar la enseñanza y el aprendizaje en áreas tecnológicas de interés del sector productivo.

Segunda etapa (2006-2011)

Como consecuencia del éxito de MECESUP y de las lecciones aprendidas durante la primera etapa, el Gobierno de Chile acordó un nuevo préstamo con el Banco Mundial (N° 7317-CH), para el desarrollo de la segunda etapa del proyecto (MECESUP2). En este se complementó el Fondo Competitivo, denominado Fondo de Innovación Académica (FIAC), con la implementación de un proyecto piloto para desarrollar convenios de desempeño en cuatro universidades del CRUCH: Universidad de Tarapacá, Universidad de Chile, Universidad del Bío-Bío y Universidad de la Frontera. Además, se asignaron recursos especiales del Programa Bicentenario de Chile en el área de las humanidades, artes y ciencias sociales. El financiamiento anual de todas actividades mencionadas alcanzó los US\$100 millones.

Tercera etapa (2012-2016)

Debido a la exitosa evaluación de los convenios de desempeño pilotos desarrollados en la segunda etapa de MECESUP, el Gobierno decidió implementar una tercera etapa de este proyecto, acordando con el Banco Mundial un tercer préstamo (N° 8126-CL) destinado a ofrecer asesoría técnica, asegurar una auditoría internacional de calidad a los convenios de desempeño adjudicados y mejorar el Fondo de Innovación Académica. En esta etapa, se extendió el acceso de estos recursos a todas las universidades, centros de formación técnica e institutos profesionales acreditados por la Comisión Nacional de Acreditación. Los capitales adjudicados durante estos cuatro años ascendieron a USD\$ 80 millones.

¹⁸⁸ Los antecedentes de este anexo han sido sintetizados, a partir de la información disponible en el portal del Ministerio de Educación de Chile (http://dfi.mineduc.cl/index2.php?id_portal=59&id_seccion=3586&id_contenido=14892) y de la página Programa MECESUP de Wikipedia, escrita por el Dr. Ricardo Reich: https://es.wikipedia.org/wiki/Programa_MECESUP.

Anexo N° 13: Proyecto CORFO Ingeniería 2030

El Programa Ingeniería 2030 de CORFO (PI2030), *“busca transformar las escuelas de ingeniería, teniendo como horizonte aportar al mejoramiento de la productividad y competitividad nacional, creando valor a partir del avance del conocimiento y la gestión creativa, con una mirada multidisciplinaria, aumentando significativamente la transferencia, tanto de conocimiento como de innovaciones tecnológicas de alto impacto; la generación de servicios de calidad y la creación de profesionales partícipes del entorno innovador. Todo esto basado en una fuerte vinculación con la industria nacional e internacional.”*¹⁸⁹

El PI2030 se enfoca en seis ejes estratégicos: gobernanza y sinergias, capital humano y gestión del cambio, I+D aplicado y vinculación con la industria, comercialización de tecnología y emprendimiento de base tecnológica, alianzas internacionales, armonización de currículo y foco en postgrados tecnológicos.

Este programa involucró en su primera convocatoria a 10 universidades en 5 proyectos, los cuales se encuentran en el tercer año de ejecución de un total de seis años. Hasta la fecha, significó una inversión de más de US\$120 millones, una inclusión que supera los 1.000 académicos y 20.000 estudiantes y permitió importantes transformaciones en la formación de los ingenieros.

Los proyectos que se encuentran actualmente en ejecución incluyen facultades y escuelas de ingeniería de las siguientes universidades:

- Pontificia Universidad Católica de Chile y Universidad Técnica Federico Santa María.
- Universidad de Concepción, Universidad de Santiago de Chile y Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Universidad Adolfo Ibáñez.
- Universidad de Chile.
- Universidad de La Frontera, Universidad del Bío-Bío y Universidad de Talca.

Las universidades partícipes del proyecto experimentaron un aumento relevante en sus indicadores en educación en Ingeniería, I+D, vínculo con la industria, innovación y emprendimiento e internacionalización, realizando diferentes acciones tales como: actualizar y renovar el currículo de Ingeniería de acuerdo con estándares internacionales; fortalecer las capacidades de enseñanza-aprendizaje; realizar investigación aplicada; promover la transferencia tecnológica; desarrollar redes efectivas de emprendimiento e innovación; incentivar la innovación y emprendimiento entre estudiantes; realizar armonización curricular y establecer programas de postgrado tecnológico; crear y fortalecer capacidades para identificar y resolver problemas de alto impacto tecnológico y social y fortalecer la movilidad internacional bidireccional.

Para alcanzar estos logros, las universidades modificaron la duración de los estudios, cambiaron la estructura de las carreras, flexibilizaron las mallas curriculares, integraron alumnos con otras carreras, implementaron nuevas metodologías de enseñanza, fortalecieron nuevas competencias en los alumnos, e implementaron modernas tecnologías de enseñanza.

¹⁸⁹ CORFO. Bases implementación Plan Estratégico Nueva Ingeniería para el 2030.

Anexo N° 14: Acreditación ABET y CDIO

La acreditación ABET, considera que los egresados de las carreras que acredita tienen la capacidad de:

- Aplicar conocimientos de matemáticas, ciencias, fundamentos de ingeniería y una especialización a la solución de problemas complejos.
- Diseñar y ejecutar experimentos, analizar e interpretar datos.
- Diseñar un sistema, componentes o proceso para satisfacer necesidades dentro de restricciones realistas: económicas, ambientales, sociales, políticas, éticas, de salud y seguridad, de factibilidad, y de mantenibilidad.
- Desempeñarse en equipos multidisciplinarios.
- Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.
- Entender la responsabilidad profesional y ética.
- Comunicarse eficazmente en español e inglés.
- Entender el impacto de las soluciones de ingeniería en un contexto social, ambiental, económico y global.
- Reconocer la necesidad de aprender durante toda la vida.
- Conocer temas contemporáneos.
- Usar técnicas, habilidades y herramientas de la ingeniería moderna para la práctica de esta disciplina.

La iniciativa CDIO constituye una alianza de colaboración mundial orientada a concebir y desarrollar una nueva visión de la enseñanza de la ingeniería. CDIO se basa en la premisa que los graduados serían capaces de: Concebir¹⁹⁰ – Diseñar¹⁹¹ – Implementar¹⁹² – Operar¹⁹³ mecanismos complejos de ingeniería con valor agregado en un ambiente moderno, basado en el trabajo en equipos, para crear sistemas y productos.

Los objetivos de la iniciativa CDIO son:

- Educar a los estudiantes para el dominio profundo y aplicado de los fundamentos técnicos.
- Educar a los ingenieros para liderar la creación y operación de nuevos productos y sistemas.
- Educar futuros investigadores para comprender la importancia y valor estratégico de su trabajo.

Esta iniciativa se diseñó como un modelo para adaptarlo y adoptarlo por cualquier escuela universitaria de ingeniería. Este se encuentra disponible para ser adaptado a las necesidades específicas de todos los programas de ingeniería y las universidades participantes desarrollan regularmente material y metodologías para compartir con otras.

¹⁹⁰ Definir las necesidades del cliente, considerando tecnología, estrategia, regulaciones, desarrollo de conceptos y planes de negocio.

¹⁹¹ Crear el diseño; planos, documentos y algoritmos que describen lo que se implementará.

¹⁹² Transformar el diseño en producto, incluyendo la fabricación, codificación, prueba y validación.

¹⁹³ Utilizar el producto implementado entregar el valor prometido.