

Aprendizajes en ingeniería de prototipado en centros de investigación de una universidad pública en Bolivia

Learning in prototyping engineering in research centers of public university in Bolivia



Jazmín Olivares

Universidad Mayor de San Simón de Bolivia

jolivaresugarte@gmail.com

Juan Arévalo

Universidad Mayor de San Simón de Bolivia

arevalojuanfernando@gmail.com

Resumen

El presente estudio informa sobre el estado del arte en la aplicación de factores del enfoque de ingeniería de prototipado, a partir de estudios de caso de maquinaria fabricada por centros de investigación de la Universidad Mayor de San Simón (UMSS) en Cochabamba-Bolivia para determinar lineamientos que permitan estructurar estrategias de prototipado amplias, analíticas e intuitivas. Los centros de investigación vinculados a los estudios de casos, llevaron a cabo procesos de creación de prototipos basados en la acumulación de conocimientos prácticos de investigadores, estudiantes y técnicos. Las lecciones aprendidas del enfoque de Ingeniería de Prototipado en la UMSS muestran que, para mejorar sus estrategias de prototipado, es recomendable el uso de tipologías clave para una ingeniería eficiente: utilización de materiales y técnicas similares al diseño final, fabricación del prototipo en el centro de investigación, contar con un conjunto de subsistemas, espacios de aprendizaje inter y transdisciplinarios, inclusión de todos los componentes y funcionalidad total del equipo. El enfoque de ingeniería de prototipado fue más reactivo que sistemático. Todavía hay oportunidades para mejorar este enfoque y crear nuevos métodos, que también implicarán, el enfoque de gestión de prototipado, para explicar el impacto de las decisiones sobre los recursos de un proyecto.

Palabras clave: prototipo, ingeniería de prototipado, interdisciplinariedad, transdisciplinariedad, co-diseño.

Artículo original / Original Article

Correspondencia / Correspondence
jolivaresugarte@gmail.com

Financiación / Fundings
Sin financiación

Recibido / Received: 21/09/2022

Aceptado / Accepted: 11/12/2022

Publicado / Published: 26/12/2022

Como citar este trabajo.

How to cite this paper.

Olivares Ugarte, J. E. y Arévalo, J. (2022). Aprendizajes en ingeniería de prototipado en centros de investigación de una universidad pública en Bolivia. I+Diseño. Revista Internacional de Innovación, Investigación y Desarrollo en Diseño, 17.

DOI: <https://doi.org/10.24310/ldisenio.2022.v17i.15221>

Abstract

The present study reports the state of the art on the application of factors about prototyping engineering approach, using case studies of machinery manufactured by research centers of the Universidad Mayor de San Simón (UMSS) in Cochabamba-Bolivia, to determine guidelines that allow structuring broad, analytical and intuitive prototyping strategies. The research centers linked to the case studies, carried out prototyping processes based on the accumulation of practical knowledge of researchers, students and technicians. The lessons learned from the Prototyping Engineering approach at the UMSS show that, in order to improve their prototyping strategies, it is advisable to use key typologies for efficient engineering: use of similar materials and techniques to the final design, prototype manufacturing at the research center, having a set of subsystems, inter-and transdisciplinary learning spaces, inclusion of all components and total equipment functionality. Prototyping Engineering approach was reactive rather than systematic. There are still opportunities to improve this approach and create new methods, which will also involve, the prototyping management approach, to explain the impact of decisions on the resources of a project.

Key Words: prototype, prototyping engineering, interdisciplinarity, transdisciplinarity, co-design.

Introducción**La industria metalmecánica en Latinoamérica**

La industria metalmecánica en Latinoamérica representa el 16% del PIB industrial. Pese a su importante participación en exportaciones de la región, particularmente de países destacados como México, que el año 2012 tuvo un aporte del 31% del valor agregado en el sector manufacturero, Brasil (27%), Argentina (17%) y Colombia (10,4 %), América Latina enfrentó dos retos en su proceso de desarrollo económico: la apertura de sus mercados y la irrupción de China en la competencia global, lo que ha llevado a un proceso de desindustrialización (Alcántara, 2015).

De acuerdo a los datos de la Asociación Latinoamericana del Acero (Alacero), la participación de la industria en el PIB de la región cayó de 17,1% en el año 2000 a 12,1% en 2012, convirtiendo a los países latinoamericanos en importadores de manufacturas sobre todo desde China. En el caso de la metalmecánica es más dramático, con una proporción de 30 a 1 de flujo desde China.

Esta situación es una de las consecuencias de las políticas neoliberales aplicadas en los gobiernos Latinoamericanos como la apertura comercial, la reprimarización y desregulación financiera, la concentración y extranjerización creciente de los medios de producción, lo que dan como resultado un saldo de pobreza, desigualdad y deterioro ambiental que emergen de dicho sistema (Rojas et al., 2015). Esto ocasiona un impacto negativo que repercute en la estructura de los aparatos productivos locales.

La estructura productiva y el desarrollo en América Latina se ha basado únicamente en la explotación de recursos naturales, mientras que las economías de Corea del Sur, China, Australia y Finlandia invirtieron en desarrollo tecnológico y conocimiento propio. Esto les permitió generar capacidades tecnológicas y aprovechar el boom de los recursos naturales (CEPAL, 2015).

El panorama parece no ser alentador porque los gobiernos latinoamericanos no están impulsando políticas industriales de largo plazo que fomenten el desarrollo del sector. Sin embargo, para Katz (1986), todavía existe la posibilidad de generar una industria metalmecánica a partir de los recursos naturales. Respecto a esa realidad afirma:

Hoy se tendría que tener una política industrial específica que capte esa mano de obra que se gestó en las décadas pasadas, que le agregue conocimiento tecnológico y que desarrolle equipos de punta para abastecer a los recursos naturales como lo hizo Finlandia con su industria forestal, Suiza con la industria lechera o Australia con la industria minera” (Katz, 1986, p. 21).

Con la reestructuración de la economía hacia los recursos naturales, se abre una nueva ventana de oportunidad para la metalmecánica en Latinoamérica para abastecer las demandas de los sectores procesadores de recursos naturales.

El contexto de la industria metalmecánica en Bolivia

El Complejo Productivo Integral de Metalmecánica es un sector priorizado en el Plan Sectorial de Desarrollo Productivo con Empleo Digno del Estado Plurinacional de Bolivia (PROBOLIVIA, 2019). Pese a su aparente escaso aporte al PIB industrial (2%) (Correo del Sur, 2017), el sector manufacturero de maquinaria y equipo tiene la capacidad de promover innovación tecnológica e impacto sistémico en 16,1% de valor agregado industrial (CNI, 2019) en otras industrias, como construcción, alimentos, agroindustria y textiles.

En la década de los 80, los alimentos fueron la principal industria del sector de bienes de consumo, superando el 38% del total del valor agregado generado por la industria. En ese período se observa una leve emergencia del peso de la industria de maquinaria y equipos, atribuible a las restricciones que enfrentaba al sector privado para la importación de bienes de capital y que fueron reemplazados, al menos en lo que se refiere a bienes de escaso contenido tecnológico, por la metalmecánica nacional (CNI, 2019).

En la década de los 90, las primeras empresas metalmecánicas se establecieron en el Departamento de Cochabamba. El área de trabajo fue cambiante, migrando de estructuras metálicas para el sector de construcción hasta líneas de acero inoxidable para la emergente industria alimentaria (Ramirez, 2000).

La contribución de la Universidad Mayor de San Simón (UMSS) a la industria metalmecánica boliviana

La Universidad Mayor de San Simón, creada en 1832 en Cochabamba, es una entidad autónoma de derecho público. La UMSS, sigue lineamientos de una universidad desarrollista, que según Arocena et al. (2018) se caracteriza por su compromiso con el desarrollo humano sostenible mediante la práctica interconectada de tres misiones: i) la enseñanza ii) la investigación y iii) el fomento del uso socialmente valioso del conocimiento. Esta última, llamada «tercera misión», fomenta la contribución de las universidades a la democratización del conocimiento (Sutz, 2005).

La creación de los centros de investigación se da a partir del primer plan quinquenal (1997-2001) de la UMSS, donde estableció como prioridades la gestión tecnológica y creación de centros de gestión de tecnología de punta (Pericon et al., 2019), que dieran respuesta a las demandas de tecnología de complejos priorizados en la agenda del desarrollo departamental. En poco más de dos décadas la UMSS estableció 42 centros de investigación dedicados a diversas especialidades (UMSS, 2012).

En la década de los 90 las primeras empresas metalmecánicas se establecieron en el Departamento de Cochabamba.

La industrialización en economías emergentes, en sectores bajos en tecnología requiere la incorporación de nuevas tecnologías.

En el área de metalmecánica la UMSS estableció tres centros de investigación, concebidos para prestar servicios académicos, de investigación y de difusión de tecnologías de metalmecánica a estudiantes, al sector empresarial metalmecánico, agropecuario e industrial (UMSS., 2018). Estos centros, entre los que destacan el Programa de Desarrollo de Tecnologías de Fabricación (PDTF), el Centro de Investigación, Formación y Extensión en Mecanización Agrícola (CIFEMA) y el Programa de Investigación en Tecnologías Aplicadas (PITA), tuvieron notoria trayectoria en proyectos de investigación, desarrollo e innovación, producto de los cuales se fabricaron más de 13 prototipos de máquinas para diferentes sectores (Gutiérrez, 2016).

Transcurridas más de tres décadas desde la creación de los primeros centros de investigación en mecanización, estos órganos académicos hoy se encuentran frente a una realidad del sector de metalmecánica que cambió sustancialmente. Las nuevas tendencias en el consumo mundial muestran una recomposición en la demanda, enfocada principalmente a los servicios, muchos de ellos producidos con la aplicación de nuevas tecnologías como la impresión 3D, el uso de Big Data y el Internet de las Cosas (IOT por su sigla en inglés). Incluso la producción de bienes de escaso contenido tecnológico requiere hoy en día la incorporación de nuevas tecnologías (CNI, 2019).

La organización de la industria en la cuarta revolución industrial se enmarca bajo el concepto de fábricas inteligentes, con nuevas tecnologías, eficientes en el uso de energía, manufactura sostenible y adaptable a las necesidades de los consumidores. La industrialización en economías emergentes, en sectores bajos en tecnología requiere la incorporación de nuevas tecnologías (Murillo, 2016). Algunos de los centros enfrentan severas dificultades para afrontar esos cambios. Sus capacidades tecnológicas fueron disminuyendo paulatinamente y aumentó la brecha tecnológica en relación a las necesidades de investigación en metalmecánica demandados por industrias de construcción, alimentos, agroindustria, manufactura, entre otras.

Este estudio rescata las experiencias de procesos de fabricación de prototipos en centros de investigación y una sociedad científica de la UMSS, a partir del enfoque de Ingeniería de Prototipado. La relevancia del estudio radica en la inexistencia de trabajos de investigación que traduzcan los hallazgos de estudios de gestión logística en un marco de ingeniería (B. A. Camburn et al., 2013). De igual manera, el trabajo contribuye a la reflexión sobre el enfoque de ingeniería en centros de investigación universitarios en países en desarrollo, dado que no existe un análisis previo de factores de ingeniería durante el proceso de fabricación de los prototipos. Bajo esta justificación del estudio, se desprende la pregunta de investigación: ¿Cuáles son las lecciones aprendidas en Ingeniería de Prototipado generados en centros de investigación en metalmecánica de la UMSS?

1. Marco Teórico

1.1 Prototipo y estrategia de prototipado

Un prototipo es un artefacto que se aproxima a una característica (o múltiples características) de un producto, servicio o sistema (B. Camburn et al., 2017). Por su parte, el prototipado se utiliza para validar requisitos, revelar problemas críticos de diseño (Gordon & Bieman, 1993) reducir errores (V. K. C. Viswanathan, 2012) optimizar las características del diseño mediante pruebas secuenciales y manipulación de parámetros (Anderl et al., 2007) y el refinamiento del diseño mediante el uso simulado a través de ensayos individuales o múltiples (B. Camburn et al., 2017).

Hallgrímsson (2012, p. 13) en un estudio similar considera como clasificaciones de los prototipos «se parece» y «funciona como». Esto corresponde aproximadamente al nivel de funcionalidad que tiene el prototipo en comparación con el producto final. Ulrich & Eppinger (2012, p. 291) añaden una segunda dimensión y caracterizan los prototipos en dos grandes dimensiones: el grado en que son físicos (en contraposición a los virtuales) y el grado en que implementan todos los atributos del diseño (enfocados en contraposición a completos). Jensen et al. (2015, p. 10) identificaron seis características temáticas de un prototipo: el material del que está hecho, su nivel de interactividad con el usuario, su detalle visual, el propósito del prototipo, el entorno contextual fuera del control del diseñador y la tecnología necesaria para producir el prototipo.

Junto a estas descripciones dimensionales de los prototipos, una de las propiedades por las que se caracterizan es la técnica empleada en su creación. Este término puede referirse al enfoque de material y fabricación (Hallgrímsson, 2012) o a las herramientas y métodos empleados (Blomkvist & Holmlid, 2011). Adicionalmente, autores como Imai. (2006, p. 75) se enfocan en el cumplimiento de requisitos mínimos y requeridos, para ello define el denominado FMEA (Failure Mode Effect Analysis) como una técnica de prevención a través de controles adecuados, utilizados para detectar posibles modos de falla asociados con la funcionalidad de un componente causados por el diseño.

A medida que los prototipos se utilizan más ampliamente en el desarrollo de nuevos productos, es importante entender cómo los materiales, técnicas y herramientas utilizadas afectan al resultado (Mathias et al., 2018). Es por ello que estos factores denominados de ingeniería deben ser analizados a profundidad por la influencia sobre el proceso de diseño y fabricación de prototipos.

La estrategia de creación de prototipos se define como el conjunto de decisiones para lograr el desarrollo del prototipo. Las elecciones hechas para las variables de prototipado identificadas pueden hacer tremendas diferencias en el tiempo, costo y efectividad del trabajo. Sin embargo, se ha realizado muy poca investigación para identificar cómo se deben elegir estas variables para un proyecto de diseño específico (Moe et al., 2004).

La falta de estrategia de prototipado puede hacer que los proyectos se retrasen, superen el presupuesto e incluso no consigan producir un concepto exitoso. Sin embargo, hay factores globales en la creación de prototipos que pueden aplicarse a todos los esfuerzos de desarrollo y que teniendo en cuenta estos factores, los ingenieros pueden llevar los productos de manera más eficiente y exitosa desde el concepto hasta su finalización. Sobre la base de la revisión literaria sobre prototipos, existe una clara necesidad de métodos más amplios e inclusivos para la elaboración de estrategias de prototipos. Para aliviar los desafíos de la creación de prototipos se toma en cuenta en este caso un enfoque de la literatura de ingeniería, dejando un espacio de investigación para la de ciencia de la gestión (B. A. Camburn et al., 2013).

1.2. Enfoque de Ingeniería de Prototipado

La literatura de Ingeniería de Prototipado se centra en la creación del producto con especial atención a las herramientas y procesos que existen para ayudar a pasar del concepto a la realidad (Ziegler et al., 2012) En la Tabla 1 se describe los factores con sus respectivas tipologías identificadas a partir de una revisión literaria extensa.

Sin embargo, se ha realizado muy poca investigación para identificar cómo se deben elegir estas variables para un proyecto de diseño específico.

Tabla 1. Factores y tipologías de enfoque de Ingeniería de Prototipado

Factores de Ingeniería de Prototipado	Descripción	Tipología	Código	Referencia
1. Sistema	Este factor considera beneficioso dividir el esfuerzo en subsistemas más pequeños que pueden ser abordados con una estrategia óptima, para aproximarse a la creación de un sistema grande.	Un solo subsistema	S1	(Ziegler et al., 2012)
		Un conjunto de subsistemas	S2	
		Todo el sistema	S3	
2. Conceptos	Este factor se refiere a desarrollar conceptos en una etapa temprana, una tipología que abarca sólo uno o dos conceptos serán elegidos para ser desarrollados en su totalidad, mientras que la tipología de múltiples prototipos en una etapa temprana puede ayudar a proporcionar una retroalimentación crítica.	Múltiples conceptos en paralelo	C1	(Ziegler et al., 2012)
		Secuencia de prototipos de un solo concepto	C2	
3. Iteración	Este factor considera si tiene o no sentido abordar un prototipo de una sola vez o centrarse en asegurar que se cumplan ciertos requisitos de diseño antes de añadir otros a través de iteraciones.	Prototipos iterativos	I1	(Ziegler et al., 2012)
		Un prototipo por concepto	I2	
4. Tecnologías de prototipado	Las tecnologías de prototipado son más fáciles de realizar por computadora que a mano y el desarrollo de un modelo CAD puede traducirse en beneficios de producción tanto para el desarrollo de prototipos como para la fabricación del producto final.	Prototipos virtuales (Analíticos, CAD, FEA, T1 CFD)	T1	(Jensen et al., 2015; Ziegler et al., 2012)
		Prototipos físicos	T2	
		Prototipo virtual y físico	T3	
5. Fabricación (Manufactura)	La fabricación define cómo se crea el prototipo. El diseñador puede fabricar el prototipo internamente o subcontratarlo. Las tecnologías de prototipado rápido permiten la producción rápida de piezas para su evaluación, pero los materiales disponibles son limitados, lo que puede impedir que las piezas sean evaluadas en su totalidad en función de los requisitos de diseño.	Subcontratación	F1	(Liao et al., 2009)
		Crear prototipos rápidos	F2	
		Completar en la propia empresa	F3	
6. Escalamiento (Físico y funcional)	La escala define el tamaño del prototipo en comparación con el tamaño de producción previsto. Los prototipos pueden ser a escala, a gran diferencia) escala o a pequeña escala.	A escala completa del producto final	E1	(Ziegler et al., 2012)
		Escala aproximada al producto final (20% de diferencia)	E2	
		No se tomó en cuenta la escala	E3	

Figura 1. Tabla Factores y tipologías de enfoque de Ingeniería de Prototipado. Fuente: elaboración propia (2020)

	La escala funcional permite optimizar requisitos de diseño.	Si se escaló la funcionalidad	EF1	(Ziegler et al., 2012)
		No se escaló la funcionalidad	EF2	
7. Flexibilidad de producción	Este factor considera la utilización de materiales para crear cada prototipo, verifica si estos difieren o no del material de producción previsto para el diseño final.	Utilizar materiales similares al diseño final	FP1	(Hallgrimsson, 2012)
		Utilizar materiales diferentes al diseño final	FP2	
8. Técnicas de fabricación	Las técnicas de fabricación y montaje que utilizan los prototipos pueden ser similares o diferentes a las del diseño final.	Utilizar técnicas de fabricación similar al diseño final	TF1	(Blomkvist & Holmlid, 2011; Ziegler et al., 2012)
		Utilizar técnicas diferentes al diseño final	TF2	
9. Requisitos de diseño /modo de fallo (1)	Los requisitos de diseño se deben cumplir para cada proyecto, por lo que el enfoque aquí es dividir los requisitos en requisitos mínimos y preferidos.	Cumple con los requisitos mínimos o requeridos	R1	(Mathias et al., 2018; Ziegler et al., 2012)
		No cumple con los requisitos mínimos o requeridos	R2	
10. Espacios de interaprendizaje	Este factor hace referencia a la identificación de los responsables de la toma de decisiones, a los operadores que identificaron la necesidad de capacidad, a los expertos en tecnología y al socio en la transición. También considera los puntos de contacto de las comunidades de requisitos, contratación, finanzas y pruebas de desarrollo y operacionales.	Multidisciplinariedad	EA1	(Department of Defense/U.S General Services, 2018; Hallgrimsson, 2012)
		Interdisciplinariedad	EA2	
		Transdisciplinariedad	EA3	
11. Evaluación de prototipos	Este factor define las evaluaciones que se pretende realizar sobre el prototipo. Eggert (2005) sugiere que todos los prototipos pueden ser agrupados en una de tres categorías: Forma, ajuste o función. Las evaluaciones de forma se utilizan para determinar si el producto tiene una apariencia aceptable. Las evaluaciones de ajuste determinan qué tan bien encajan las partes separadas y si el producto encaja bien en el espacio al que está destinado. Las evaluaciones de funcionamiento comprueban hasta qué punto el producto cumple las funciones deseadas. La sección Funcionalidad busca definir el nivel de funcionalidad del prototipo. Otto y Wood (2001) presentan maneras útiles de dividir las funciones de un producto.	El producto es estéticamente presentable	EE1	
		El producto no es estéticamente presentable	EE2	
		Incluyen todos los componentes	EC1	
		Incluye múltiples componentes	EC2	(Eggert, 2005; Hilton et al., 2015)
		Incluye un solo componente	EC3	
		Funcionalidad total	EFU1	
		Funcionalidad parcial	EFU2	
		No funcional	EFU3	

El esquema de la Figura 2 detalla la participación de los factores de ingeniería de prototipado en los procesos genéricos de fabricación de prototipos. Los mismos son: concepto, diseño, desarrollo y prueba.

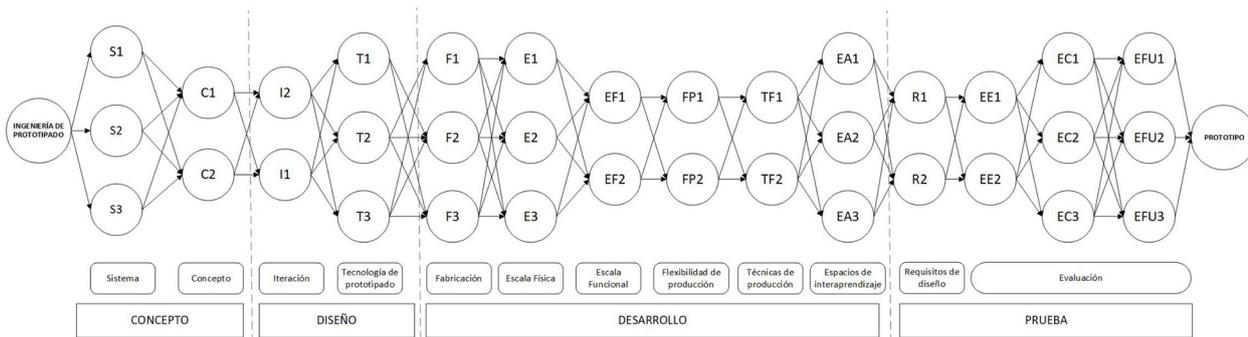


Figura 2. Factores del enfoque de ingeniería dentro y la estrategia de prototipado. Fuente: elaboración propia (2020) en base a referencias de la Tabla 1

1.3. Espacios de interaprendizaje: co-diseño, interdisciplinariedad y transdisciplinariedad

Los procesos de fabricación de prototipos en el contexto de los centros de investigación, buscan introducir a los participantes a las fases de una investigación interdisciplinaria bajo una visión integrada de socio-ecosistemas¹. Al mismo tiempo, reconocer la importancia de aprender técnicas de co-diseño y transdisciplina en la implementación de futuros proyectos, que contribuyan al desarrollo socioeconómico del país. Es por ello que estos casos de estudio buscan construir un piso común de conocimiento entre disciplinas y prácticas de co-diseño, a través de un trabajo de campo transdisciplinario, similar estudio siguió (Uribe et al., 2014).

1.4. Co-diseño

El co-diseño involucra idealmente a los usuarios finales a lo largo del proceso de diseño (Reich et al., 1996). Busca que todos los participantes contribuyan con sus conocimientos y habilidades de manera conjunta, creando artefactos de diseño que se adapten a los usuarios finales involucrados en el proceso (Taffe, 2015). Con la ayuda de la tecnología, el mundo del diseño está experimentando un cambio masivo –El diseño se está convirtiendo en una actividad cotidiana más que en un estudio profesional (Lee, 2008)–. Según un estudio realizado por Sanders (2006), se trata de que la era centrada en las personas está reemplazando a la era impulsada por el mercado y el fenómeno más grande es que las personas sin educación en diseño están diseñando. Por ello surgen características temáticas de un prototipo como el nivel de interactividad con el usuario (Jensen et al., 2015), como uno de los factores influyentes dentro de la ingeniería de prototipado.

1.5. Interdisciplinariedad

La interdisciplinariedad establece una interacción entre dos o más disciplinas, lo que dará como resultado intercomunicación y enriquecimiento recíproco. En consecuen-

1. Socio-ecosistema: vínculo entre ecosistema y sociedad a través de los servicios ecosistémicos, que son las contribuciones de los productos y procesos de los ecosistemas al bienestar de la sociedad. Los ecosistemas conforman el sustento de todas las actividades humanas. En los ecosistemas interactúan plantas, animales y microorganismos con las condiciones físicas del ambiente (Galán et al., 2012).

cia, una transformación metodológica de investigación, intercambios mutuos y recíprocos (Bermúdez, 2014). De esta forma, cada disciplina utiliza un vocabulario diferente y diferentes medios para comunicar ideas dentro de cada campo, lo que permite desarrollar una amplia gama de representaciones de diseño.

El diseño de productos es inherentemente una actividad interdisciplinaria. Los diseñadores de productos a menudo necesitan comunicar sus ideas a los usuarios finales, ingenieros y profesionales del marketing que no necesariamente miran el proyecto desde el mismo punto de vista (Hallgrímsson, 2012, p. 23).

La ventaja de esta forma de comunicación interdisciplinaria permite garantizar que el producto sea exitoso, al satisfacer todos los requerimientos de los involucrados en el diseño.

1.6. Transdisciplinariedad

La aproximación transdisciplinaria, involucra no solamente el agregado de las disciplinas, sino la transversalidad de las mismas para el planteo de soluciones que contemplen los intereses de todos los sectores involucrados en una problemática (Bunge, 2002). La transdisciplinariedad se define como: «La etapa superior de la interdisciplinariedad y que puede ser entendida como un proceso de autoformación e investigación acción que se orienta en la complejidad real de cada contexto» (Delgado & Rist, 2016, p. 366).

Por ello, el diálogo de saberes y la complejidad son inherentes a la actitud transdisciplinaria que se plantea el mundo como pregunta y como aspiración (Peñuela, 2005). En estudios realizados por investigadores de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la UMSS se evidenció que:

El diálogo de saberes es la premisa fundamental del diálogo intercientífico, que implica buscar los puentes y la interrelación entre los conocimientos sobre la alimentación desarrollados desde la ciencia occidental moderna, con los saberes ancestrales y la sabiduría de las naciones indígena-originario campesinas (Delgado & Rist, 2016, p. 352).

Lo que distingue a la transdisciplinariedad de otros enfoques es la complejidad inherente de la realidad, que se observa cuando se examina un problema o fenómeno desde múltiples ángulos y dimensiones, con miras a descubrir conexiones ocultas entre diferentes disciplinas (Madni, 2007). En el estudio realizado por Exner (Exner et al. 2016, p. 1) se desarrolló un proceso transdisciplinario de creación de prototipos genéricos, integrando aspectos de cada disciplina. Este estudio se realizó para asegurar un procedimiento sistémico que permita la comunicación y la selección de un enfoque de prototipo. Además de adaptar otras dimensiones que aumente la conciencia de las múltiples características del prototipado. Es en el uso de esta complejidad multidimensional para analizar los problemas y comunicar y enseñar lecciones sobre ellos, que radica la novedosa contribución de la transdisciplinariedad (Bernstein, 2015).

Este artículo analiza los factores del enfoque de Ingeniería de Prototipado que influyeron en cada caso de estudio. Un estudio similar siguieron Wood et al. (2001, p. 363) en el cual detallan muchas clases diferentes de prototipos y enfoques. Mientras Mathias (Mathias et al. 2018, p. 1257) desarrollan algunas tipologías de ingeniería como los materiales, técnicas y herramientas.

2. Casos de Estudio

El trabajo aborda cuatro casos de estudio que fueron seleccionados de acuerdo a los siguientes criterios: (i) constituyen ejemplos representativos de procesos evolutivos y capacidades de absorción de los respectivos centros de investigación (ii) incorporan procesos tecnológicos a los procesos de prototipado por encima de la media comúnmente desarrollados por cada centro de investigación (iii) incluyen uno o más factores de ingeniería de prototipado factibles de ser replicados en centros de investigación universitarios para mejora continua de procesos de prototipado. La Tabla 2 presenta una descripción de cada caso:

Tabla 2. Casos de estudio

Prototipo	Función principal	Centro de investigación	Período de fabricación
Trilladora de trigo	Separa el grano de trigo	PDTF (Programa de Desarrollo de Tecnologías de Fabricación)	(2009-2011)
Cardadora de fibra y lana	Alinear las fibras de lana, eliminando las impurezas	CIFEMA UMSS (Centro de Investigación, Formación y Extensión en Mecanización Agrícola) CIFEMA SAM (Sociedad Anónima Mixta)	(2015-2019)
Sistema de Compostaje Automatizado	Convierte la materia orgánica de residuos sólidos en abono y biogás	PITA (Programa de Investigación en Tecnologías Aplicadas)	(2009-2014)
Vehículo no tripulado automatizado para control por carreteras	Mini aeronave para control de contrabando en carreteras fronterizas	SCIAME (Sociedad Científica de Ingeniería Aplicada Mecánica Electromecánica)	(2013-2018)

Figura 3.
Tabla 2. Casos de estudio.
Elaboración propia (2020)

3. Metodología

La pregunta de investigación de este trabajo es la siguiente: ¿Cuáles son las lecciones aprendidas en ingeniería de prototipado generados en centros de investigación en metalmeccánica de la UMSS?

La investigación sigue un enfoque constructivista con la finalidad de rescatar lecciones aprendidas, respecto al uso de factores de ingeniería de prototipado, que contribuyan a elaborar estrategias de prototipado más amplias e inclusivas, que se adecuen a las características de los centros de investigación de una universidad pública, que realiza proyectos de impacto social.

Se siguió la metodología de estudios de caso a profundidad (Luna & Rodríguez, 2011; Sampieri, 2014). Se empleó métodos cualitativos con entrevistas a profundidad a informantes clave, se usa esta herramienta debido a que examinan por qué ocurre algo y los impactos de ciertas decisiones de diseño. Similar enfoque metodológico utilizaron otros investigadores en estudios de diseño de prototipos (Adams et al., 2011) y estrategia de prototipado (Ziegler et al., 2012)

3.1. Participantes

Los participantes involucrados en los cuatro casos de estudio corresponden a directores, docentes-investigadores, estudiantes de pregrado y otros actores relevantes que

Tabla 3. Actores involucrados en el estudio

Caso	Centro de investigación	Actores entrevistados
Trilladora de trigo	PDTF	Director Jefe de producción Investigador
Cardadora de fibra y lana	CIFEMA UMSS	Director Responsable de Proyectos Estudiante (tesista) Empresario Financiador Institución de colaboración
Sistema de Compostaje Automatizado	PITA	Director Investigador Estudiante (tesista) Financiador Institución de colaboración
Vehículo no tripulado automatizado para control por carreteras	SCIAME	Estudiante (tesista) Financiador

participaron de manera directa. La Tabla 3 presenta un resumen de los actores involucrados en el estudio.

3.2. Protocolo de entrevistas

Se condujeron entrevistas semiestructuradas con los participantes. Las preguntas fueron diseñadas para indagar, reflexionar y profundizar sobre las tipologías de factores de ingeniería que los cuatro centros de investigación siguieron para el diseño y fabricación de prototipos. La Tabla 4 presenta ejemplos de los cinco temas principales de preguntas abordadas en las entrevistas, para el caso de los centros de investigación.

Tabla 4. Protocolo de preguntas a centros de Investigación

Tema	Ejemplos de Preguntas
Actividad del centro de investigación	1. ¿Cuáles son los antecedentes del Centro de Investigación?
Antecedentes del prototipo	2. ¿Cuáles son los antecedentes del prototipo
Generación de la idea	3. ¿Cómo se generó la idea del prototipo?
Estrategia de prototipado	4. ¿Qué procedimiento siguieron para el diseño y fabricación del prototipo? ¿Qué actores participaron en cada fase? ¿Cuál fue el rol de cada uno?
	5. ¿Cómo definió y cuáles fueron las especificaciones técnicas del prototipo? (sistema, escalamiento físico y/o funcional, flexibilidad de producción, técnicas de fabricación, requisitos de diseño)
	6. ¿Qué tipo(s) de controles de calidad se realizaron al prototipo final? (Evaluación de estética, ajuste y funcionalidad)
	7. ¿Qué tecnologías de prototipado utilizó durante el desarrollo del proyecto?
Impacto social	8. ¿Cuál fue la contribución social de la máquina?

Figura 4.

Tabla 3. Actores involucrados en el estudio. Elaboración propia (2020)

Nota: Entre los actores entrevistados se contempla a: directores de centros de investigación con mas de 30 años de experiencia profesional en sus áreas de especialidad, docentes-investigadores de las facultades de ciencias y tecnología y agrícolas y pecuarias de la UMSS. Así mismo participaron estudiantes de pregrado de carreras de ingeniería mecánica, electromecánica y eléctrica. Finalmente, sociedades comerciales como CIFEMA SAM (Sociedad Anónima Mixta) y organizaciones de cooperación al desarrollo como Swisscontact, CIOEC (Coordinadora de Integración de Organizaciones Económicas Campesinas, Indígenas y Originarias de Bolivia) y AVSF (Agrónomos y Veterinarios sin Fronteras)

Figura 5.

Tabla 4. Protocolo de preguntas a centros de investigación. Fuente: elaboración propia (2020)

Tabla 5. Protocolo de preguntas a organizaciones de cooperación al desarrollo y sociedades comerciales involucrados en los casos de estudio

Tema	Ejemplos de Preguntas
Actividad Organización	1. ¿Cuál es la función principal?
Generación de la idea	2. ¿Cómo se originó la idea del prototipo en estudio?
Estrategia de prototipado	3. ¿Cuáles fueron los actores que participaron en el proyecto?
	4. ¿Cuál fue el rol de la institución durante el desarrollo del prototipo?
	5. ¿Cómo se dio la interacción con el centro de investigación durante todo el proceso de diseño y fabricación del prototipo?
	6. ¿Cómo realizó el seguimiento del proyecto? ¿Qué control de calidad empleó?
Impacto social	7. ¿Cuál fue la contribución social de la máquina?
	8. ¿En su opinión existió adopción social de la comunidad?

Figura 6.
Tabla 5. Protocolo de preguntas a organizaciones de cooperación al desarrollo y sociedades comerciales involucradas en los casos de estudio. Fuente: elaboración propia (2020)

La Tabla 5 presenta ejemplos de los cuatro temas principales de preguntas abordadas en las entrevistas. El protocolo fue planteado para organizaciones de cooperación al desarrollo y sociedades comerciales.

4. Desarrollo

4.1 Análisis de Datos

Las entrevistas grabadas fueron transcritas y posteriormente analizadas. Se utilizó un enfoque de codificación cualitativa que incluyó codificación inductiva (Creswell, 2014) y deductiva (Crabtree & Miller, 1992). Para el análisis de las entrevistas se utilizó el software QSR NVivo 10 de codificación cualitativa.

Se sistematizó extractos relacionados con las preguntas guía de investigación. Se utilizó la codificación inductiva que permitió analizar un conjunto de datos de forma iterativa, donde surgieron patrones, temas y códigos a partir de los datos proporcionados. De esa manera se pudo capturar tendencias y patrones para cada pregunta de investigación. Los códigos se agruparon en las siguientes categorías:

- ¿Qué factores de Ingeniería de Prototipado emplea cada caso para el desarrollo del prototipo?
- ¿Cuáles son los factores de Ingeniería de Prototipado más relevantes?

A los segmentos de las entrevistas se les asignó códigos, de acuerdo a las tipologías de cada factor de enfoque de ingeniería identificada en el conjunto de preguntas planteadas. Por ejemplo, el código Tecnologías de prototipado se basaba en citas como «realiza un prototipado mixto (virtual y físico)» presentado en la pregunta de las tecnologías de prototipado utilizadas durante el desarrollo del proyecto.

Se continuó con un enfoque de codificación deductiva aprovechando la revisión literaria de las características de cada tipología, con la finalidad de inferir algunas tipologías por la proximidad de su significado a través de un conteo de frecuencias de respuestas.

Una vez obtenida una tabla de frecuencias de tipologías se procedió a realizar un análisis de correspondencia simple de las variables Tipología y Caso de estudio, utilizando el software de estadística SAS v.9.4. El primer paso fue la lectura de los datos de entrada y la asignación de formatos: TIP2 «Tipología»; EQUIP2 «Caso de estudio-equipos». El detalle de los formatos se presenta en la Tabla 6 y corresponde a la frecuencia relativa porcentual de cada tipología codificada.

El análisis de correspondencia, a través del procedimiento PROC CORRESP, localiza todas las categorías en un espacio euclidiano. A partir de la descomposición de inercia y Chi cuadrado se generaron tres dimensiones de análisis. Las dos primeras dimensiones de este espacio fueron trazadas para examinar las asociaciones entre las categorías, ya que la tercera era muy pequeña.

Interpretación estadística Chi cuadrado

La prueba Chi cuadrado permite determinar si dos variables cualitativas están o no asociadas. Si al final del estudio concluimos que las variables no están relacionadas podremos decir con un determinado nivel de confianza, previamente fijado, que ambas son independientes.

Para su computo es necesario calcular las frecuencias esperadas (aquellas que deberían haberse observado si la hipótesis de independencia fuese cierta), y compararlas con las frecuencias observadas en la realidad. De modo general, para una tabla $r \times k$ (r filas y k columnas), se calcula el valor del estadístico X^2 como sigue:

$$(1)$$

donde:

- O_{ij} denota a las frecuencias observadas. Es el número de casos observados clasificados en la fila i de la columna j .
- E_{ij} denota a las frecuencias esperadas o teóricas. Es el número de casos esperados correspondientes a cada fila y columna. Se puede definir como aquella frecuencia que se observaría si ambas variables fuesen independientes.

Así, el estadístico mide la diferencia entre el valor que debiera resultar si las dos variables fuesen independientes y el que se ha observado en la realidad. Cuanto mayor sea esa diferencia (y, por lo tanto, el valor del estadístico), mayor será la relación entre ambas variables. El hecho de que las diferencias entre los valores observados y esperados estén elevadas al cuadrado en (1) convierte cualquier diferencia en positiva. El test X^2 es así un test no dirigido (test de planteamiento bilateral), que nos indica si existe o no relación entre dos factores, pero no en qué sentido se produce tal asociación (Pita Fernández & Pértega Díaz, 2004). De esta manera, para el estudio en particular, se realizó el test X^2 para ver si existe alguna correlación entre las tipologías de ingeniería y los casos de estudio que permita proponer lineamientos de tipologías a seguir para formular una estrategia de prototipado.

5. Resultados

5.1 Factores de Ingeniería de Prototipado empleados en el desarrollo de prototipos

En la Tabla 6 de frecuencia relativa porcentual, se presenta un resumen de los factores de Ingeniería de prototipado con sus respectivas contribuciones a Chi cuadrado

Tabla 6. Frecuencia relativa porcentual de tipologías de enfoque de Ingeniería de Prototipado

Factor	Chi Cuadrado	TIP2	Tipología	Frecuencia porcentual
1. Sistema	0,9754	S1	Un solo subsistema	0,00
		S2	Un conjunto de subsistemas	62,50
		S3	Todo el sistema	37,50
2. Conceptos	0,0518	C1	Múltiples conceptos en paralelo	43,75
		C2	Secuencia de prototipos de un solo concepto	56,25
3. Iteración	0,2901	I1	Prototipos iterativos	81,25
		I2	Un prototipo por concepto	18,75
4. Tecnologías de prototipado	0,4773	T1	Prototipos virtuales (Analíticos, CAD, CFD)	0,00
		T2	Prototipos Físicos	25,00
		T3	Prototipo virtual y físico	75,00
5. Fabricación (Manufactura)	0,0463	F1	Subcontratación	43,75
		F2	Crear prototipos rápidos	12,50
		F3	Completar en la propia empresa	43,75
6. Escalamiento (Físico y funcional)	0,7758	E1	A escala completa del producto final	68,75
		E2	Escala aproximada al producto final (20% menos)	31,25
		E3	No se tomó en cuenta la escala	0,00
	0,04	EF1	Si se escaló la funcionalidad	87,50
		EF2	No se escaló la funcionalidad	12,50
7. Flexibilidad de Producción	0,0622	FP1	Utilizar materiales similares al diseño final	37,50
		FP2	Utilizar materiales diferentes al diseño final	62,50
8. Técnicas de Fabricación	0,0142	TF1	Utilizar técnicas de fabricación similar al diseño final	43,75
		TF2	Utilizar técnicas diferentes al diseño final	56,25
9. Requisitos de Diseño /Modo de fallo (1)	0,1697	R1	Cumple con los requisitos mínimos o requeridos	87,50
		R2	No cumple con los requisitos mínimos	12,50
10. Espacios de interaprendizaje	0,0153	EA1	Multidisciplinariedad	50,00
		EA2	Interdisciplinariedad	31,25
		EA3	Transdisciplinariedad	18,75
11. Evaluación de prototipos	0,1697	EE1	El producto es estéticamente presentable	87,50
		EE2	El producto no es estéticamente presentable	12,50
	0,5036	EC1	Incluyen todos los componentes	62,50
		EC2	Incluye múltiples componentes	37,50
		EC3	Incluye un solo componente	0,00
	0,04	EFU1	Funcionalidad total	75,00
EFU2		Funcionalidad parcial	25,00	
EFU3		No funcional	0,00	

Figura 7. Tabla 6. Frecuencia relativa porcentual de tipologías de enfoque de Ingeniería en Prototipado. Fuente: elaboración propia (2020)

y tipologías identificadas y codificadas para el análisis de correspondencia. Algunas tipologías son identificadas por la forma de trabajo en los centros de investigación, tal el caso del factor Espacios de interaprendizaje. Los demás factores fueron descritos previamente en la Tabla 1.

La Tabla 6 muestra la contribución al Chi cuadrado de los factores de Ingeniería de Prototipado. Los factores menores o iguales a 0,05 son los más críticos y relevantes al definir una estrategia de prototipado. Estos factores dependientes son: conceptos (C), fabricación- manufactura (F), técnicas de fabricación (TF), espacios de intera-

prendizaje (EA), evaluación del prototipo ya sea de ajuste (EC), estética (EE), funcionalidad (EFU), y escalamiento funcional (EF). Estos factores de mayor contribución al Chi cuadrado coinciden con los propuestos por Hilton (Hilton et al., 2015) tales los factores de evaluación, tecnología y escalamiento del prototipo.

Continuando con el análisis de correspondencia, los datos estadísticos de la Tabla 7 emergen de la descomposición de inercia y Chi cuadrado de tres dimensiones generadas, de las cuales la Dimensión 1 al 62,11% y la Dimensión 2 al 21,43% fueron graficadas por su implicancia.

Tabla 7. Descomposición de inercia y Chi-cuadrado de dimensiones de Ingeniería de Prototipado

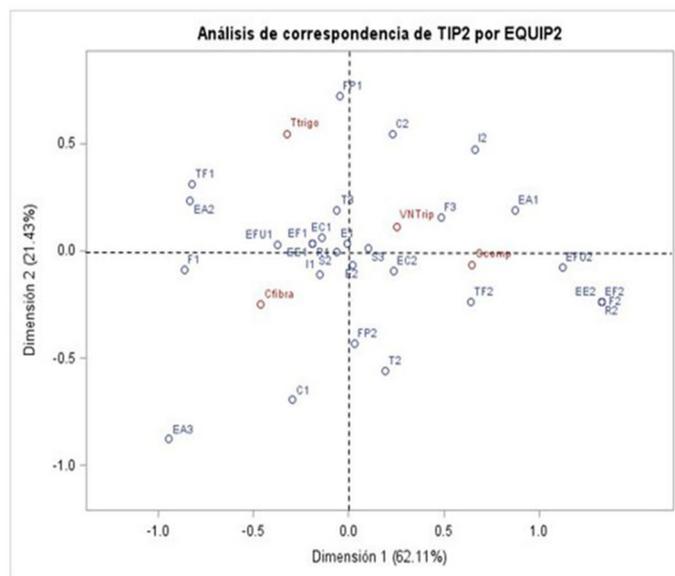
Descomposición de inercia y Chi-cuadrado					
Valor Singular	Inercia Principal	Chi- Cuadrado	Porcentaje	Porcentaje Acumulativo	12 24 36 48 60
					-----+-----+-----+-----+-----
0,48860	0,23873	534,762	62,11	62,11	*****
0,28702	0,08238	184,531	21,43	83,54	*****
0,25150	0,06325	141,684	16,46	100,00	*****
Total	0,38436	860,978	100,00	-	

Grados de Libertad = 87

A partir de coordenadas generadas de las tipologías de Ingeniería de Prototipado y de los prototipos para las dimensiones 1 y 2, se obtuvo la Gráfica 1 de análisis de correspondencia.

Figura 8. Tabla 7. Descomposición de inercia y Chi-cuadrado de dimensiones de Ingeniería de Prototipado. Fuente: elaboración propia (2020)

En la Gráfica 1 se examina las asociaciones entre tipologías de ingeniería y equipos. La proximidad de los puntos implica que exista una fuerte relación entre estos.



Códigos. TIP2: Tipología de ingeniería de prototipado. EQUIPO2: Caso de estudio. Ttrigo (Trilladora de trigo), Cfibra (Cardadora de fibra y lana), Scomp (Sistema de compostaje automatizado), VNTRip (Vehículo no tripulado), S1(Un solo subsistema), S2(Un conjunto de subsistemas), S3(Todo el sistema), C1(Múltiples conceptos en paralelo), C2(Secuencia de prototipos de un solo concepto), I1(Prototipos iterativos), I2(Un prototipo por concepto), T1(Prototipos virtuales), T2(Prototipos físicos), T3(Prototipo virtual y físico), F1(Subcontratación), F2(Crear prototipos rápidos), F3(Completar en la propia empresa), E1(A escala completa), E2(A escala aproximada), E3(No se escaló), EF1(Si se escaló la funcionalidad), EF2(No se escaló la funcionalidad), FP1(utilizar materiales similares al diseño final), FP2(Utilizar materiales diferentes al diseño final), TF1(Técnicas similares al diseño final), TF2 (Técnicas diferentes al diseño final), R1 (Cumple con requisitos mínimos o requeridos), R2 (No cumple con requisitos mínimos o requeridos), EA1 (Multidisciplinariedad), EA2 (Interdisciplinariedad), EA3 (Transdisciplinariedad), EE1 (Producto estéticamente presentable), EE2(Producto no es estéticamente presentable), EC1(Incluyen todos los componentes), EC2(Incluye múltiples componentes), EC3(Incluye un solo componente), EFU1(Funcionalidad total), EFU2(Funcionalidad parcial), EFU3(No funcional).

Adicionalmente, se interpreta las dimensiones por separado para determinar cuál es la magnitud de la contribución absoluta de cada tipología o equipo en la formación de la dimensión. A mayor distancia del origen de una dimensión, mayor será la representación sobre esta dimensión, lo cual no necesariamente implica una contribución alta. Tal el caso de la transdisciplinariedad (EA3) y el no escalamiento de la funcionalidad (EF2) que tienen mayor representación sobre la Dimensión 1. Sin embargo, la única tipología que tiene contribución alta sobre esta dimensión es la transdisciplinariedad.

Las tipologías cercanas al punto de origen como escalamiento físico completo (E1), escalamiento aproximado al 20% de diferencia (E2), un conjunto de subsistemas (S2), todo el sistema (S3) y el cumplimiento de los requisitos mínimos o requeridos (R1), corresponden a la media de las tipologías que deben poseer todos los prototipos.

Sucede lo contrario con las tipologías en cuadrantes extremos de las dimensiones 1 y 2 como transdisciplinariedad (EA3), un prototipo por concepto (C2), técnicas similares al diseño final (TF1), interdisciplinariedad (EA2), las cuales son relevantes por su grado de significancia para ambas dimensiones y tienen mayor poder descriptivo. Respecto a los prototipos en estudio, el que tiene mayor contribución al Chi cuadrado e inercia en ambas dimensiones corresponde a la Cardadora de fibra. Esta significancia se atribuye al desarrollo de espacios de interaprendizaje que generaron al ejecutar proyectos transdisciplinarios e interdisciplinarios con la coparticipación de actores externos a lo largo del proceso de fabricación de los prototipos.

Las tipologías en los extremos de la Dimensión 1 como: transdisciplinariedad, técnicas similares al diseño final, interdisciplinariedad, funcionalidad parcial, prototipo estéticamente no presentable, no escalamiento de la funcionalidad, creación de prototipos rápidos, no cumplimiento de requisitos mínimos y subcontratación, tienen mayor grado de significancia para la dimensión horizontal. En muchos casos son aspectos críticos a ser considerados, como el factor de evaluación del prototipo. Estas tipologías hacen contribuciones grandes a la estadística del Chi-cuadrado y a la inercia de la dimensión uno. En el caso de los prototipos, el Sistema de compostaje automatizado tiene mayor implicancia en esta dimensión.

Las tipologías en los extremos de la Dimensión 2 como: transdisciplinariedad, utilización de materiales similares al diseño final, múltiples conceptos en paralelo, secuencia de prototipos de un solo concepto y uso de prototipos físicos tienen poder descriptivo y son relevantes. En ese sentido, deben ser considerados como aspectos de singular importancia en el desarrollo de un prototipo. Respecto a los prototipos, la Trilladora de trigo tiene mayor implicancia en la Dimensión 2.

Con respecto a la correspondencia, la Trilladora de trigo se asocia a utilizar materiales similares al diseño final. La Cardadora de fibra y lana se asocia a utilizar prototipos iterativos y la funcionalidad total. El Sistema de compostaje automatizado se asocia a utilizar técnicas diferentes al diseño final. El Vehículo no tripulado automatizado se asocia a abarcar todo el sistema, incluir múltiples componentes y completar el trabajo en la propia empresa.

6. Discusión y Análisis

Para definir una estrategia de prototipado desde el enfoque de Ingeniería de Prototipado para centros de investigación de la UMSS, se debe considerar los factores detallados

en la Figura 2 los cuales son: conceptos, fabricación-manufactura, escalamiento funcional y físico, generación de espacios de interaprendizaje, técnicas de fabricación y evaluación del prototipo, como factores dependientes. Así mismo se tiene: procesos iterativos, requisitos de diseño mediante el FMEA y tecnologías apropiadas de prototipado (físico y virtual), como factores independientes. La Figura 9 sigue la misma lógica que la Figura 1, pero destaca los factores más relevantes que aplican al contexto de ingeniería de prototipado en centros de investigación de la UMSS. Adicionalmente, detalla una ruta crítica donde se prioriza las tipologías de secuencia de prototipos de un solo concepto (C2), debido a que los prototipos en paralelo (C1) implican mayor inversión de dinero y disponibilidad financiera inmediata. A pesar de que prototipos en paralelo puedan reducir los tiempos de fabricación, la gestión financiera de los proyectos desde la institución académica sigue un proceso lento y burocrático.

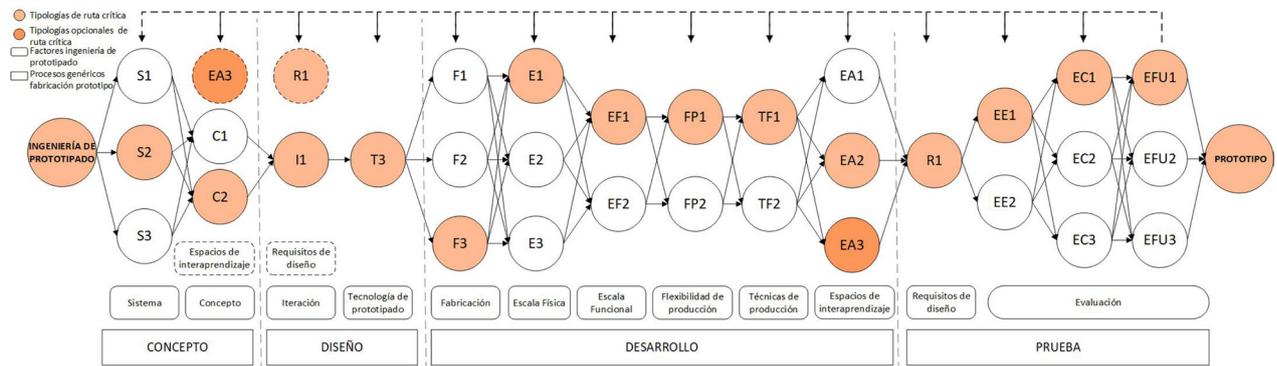


Figura 9. Ruta crítica de Factores dependientes del enfoque de ingeniería dentro de la estrategia de prototipado. Fuente: elaboración propia (2020)

Respecto al desarrollo en el centro de investigación (F3) universitario, se toma en cuenta porque la subcontratación de otro centro (F1) o empresa privada implica mayor inversión en tiempo y dinero y no garantiza que el prototipo sea adecuadamente fabricado, por falta de seguimiento de subsistemas de funcionamiento que son derivados a otros centros. Lo propio sucede en el caso de prototipos rápidos (F2), que implica contar con máquinas e insumos de impresión de piezas en 3D para obtener prototipos físicos y simular en tiempo real. Pese a ser una solución ideal, en los centros de investigación universitario, la mayoría no cuenta con equipamiento e insumos para impresión 3D.

Finalmente, respecto a los espacios de interaprendizaje, el trabajo debe ser interdisciplinario (EA2) y en lo posible, transdisciplinario (EA3). Respecto a este último, no existen estudios de la transdisciplinariedad aplicados a la ingeniería de prototipado. La generación de un espacio de trabajo donde interactúen con conocimientos endógenos y exógenos, en todas las fases de prototipado, múltiples actores de diferentes áreas, permitirá obtener un prototipo que cumpla con todos los requisitos requeridos para satisfacer una necesidad, demanda u oportunidad generada.

Los procesos de iteración de prototipos son útiles para ampliar el conjunto de características de un prototipo en lugar de incorporar todas las características a la vez (Kelley, 2010). Las tecnologías de prototipado mixto, físicos y virtuales garantizan el cumplimiento de requisitos mínimos y generan mayor confianza al utilizar dos tecnologías de forma conjunta. En relación a la fabricación-manufactura, la simulación de software y la impresión rápida son herramientas poderosas para hacer que la creación de prototipos sea más rápida y posiblemente menos costosa (Schrage, 2000). Respecto al escalamiento funcional (Ziegler et al. 2012) aconsejan que a menudo no es una

buena idea abordar todos los requisitos de diseño en un solo prototipo. En cambio, puede ser útil centrarse en requisitos específicos importantes de forma independiente e integrarlos en un prototipo en una iteración posterior. Es decir, la funcionalidad puede ir escalando con el tiempo al incorporar nuevas características mecánicas, eléctricas o electrónicas al prototipo. Respecto a los requisitos de diseño el FMEA ayuda a alcanzar mayores niveles de calidad al detectar potenciales errores en los procesos antes que estos se lleven a cabo (Stamatis, 2003). Hilton (Hilton et al. 2015) destacan las tipologías de evaluación de prototipado para definir lineamientos a seguir en una estrategia.

El prototipo con mayor contribución a ambas dimensiones analizadas, tanto de tipologías de ingeniería como de casos de estudio es la Cardadora de fibra. Esta condición se atribuye a la existencia de espacios de interaprendizaje transdisciplinarios e interdisciplinarios, corroborado por Eppinger (Eppinger et al. 1990, p. 301) en otro estudio similar, con la coparticipación de actores externos a lo largo del proceso de fabricación de los prototipos. En la Cardadora de fibra y la Trilladora de trigo se destacan los procesos de diálogo de saberes entre productores agropecuarios, diseñadores y financiadores del prototipo, lo cual generó experiencias exitosas de co-diseño y co-creación de conocimiento. Ello implicó generar espacios de interaprendizaje con enfoques transdisciplinarios e interdisciplinarios y un enfoque de co-diseño con la participación de los usuarios en el proceso de diseño para captar las ideas y conocimiento contextual (Taffe, 2015).

A continuación, se tratará a detalle la discusión de los casos de estudio con respecto a los factores de ingeniería de prototipado que tienen mayor implicancia en cada uno.

6.1. Trilladora de trigo

La Trilladora de trigo es un equipo cuyas piezas que lo componen se pueden fabricar fácilmente a través de un proceso de mecanización sencillo. Por ello, tiene mayor facilidad de utilizar materiales similares al diseño final. En este caso, a diferencia de otros equipos similares disponibles en el mercado abierto, está fabricado con materiales y manufactura local. Adicionalmente, la dimensión total de la máquina es pequeña y económica, lo cual facilita su transporte (UMSS, 2011). Este equipo fue uno de los pocos trabajos que se ejecutó de manera conjunta entre centros de investigación, involucrando a PDTF y CIFEMA UMSS, bajo un enfoque de interdisciplinariedad que permitió romper el trabajo aislado e individualista de los centros. A su vez, rescató la experticia de cada uno. A ello se sumó, el hecho que los usuarios se involucraron en la co-construcción y co-diseño del prototipo en diálogo con los investigadores y facilitando la adopción social (Rodríguez et al., 2012). Comparando la ruta crítica que sigue PDTF respecto a la ruta propuesta, en la Figura 10 se observa una tipología diferente relacionada con la imposibilidad de completar el trabajo en el propio centro. Pese a ello, el trabajo colaborativo entre dos centros permitió realizar una subcontratación a nivel interno y concluir el proyecto en uno de los centros de investigación, bajo un acuerdo mutuo.

6.2. Cardadora de fibra y lana

La Cardadora de fibra y lana fue un prototipo desarrollado por CIFEMA UMSS para aprovechamiento de la fibra y lana de camélidos. Una característica peculiar de CIFEMA UMSS es la fabricación de maquinaria adecuada al contexto. Es decir, la capacidad tecnológica debe ir acompañada de adecuación al contexto social (Rodríguez et al., 2012), tomando en cuenta la cultura, usos y costumbres de los usuarios antes de implementar elementos de alta tecnología. CIFEMA UMSS empleó la metodología

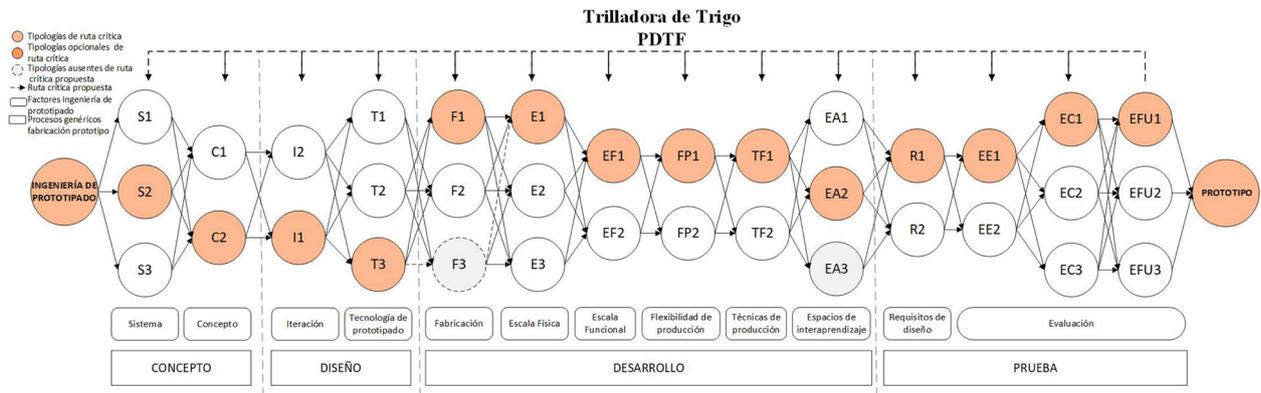
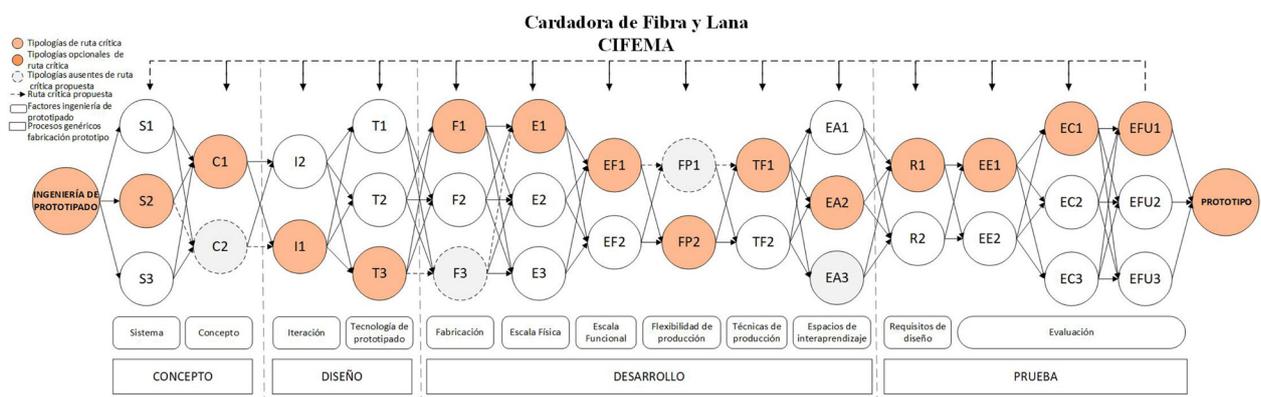


Figura 10. Ruta crítica de factores del enfoque de ingeniería del PDTF dentro de la estrategia de prototipado. Fuente: elaboración propia (2020) en base a referencias de Tabla 1 y de caso de trilladora de trigo

de Gestión territorial² para entender y comprender a los actores, potencialidades y limitaciones. Esto contribuyó a usar tecnologías adecuadas a las condiciones socioeconómicas de las familias criadoras de camélidos y ovinos, evitando problemas de «sobre innovación»³.

La Cardadora pasó por pruebas preliminares en taller, donde se realizó múltiples ajustes a través de un proceso de iteración (Kelley, 2010) denominado por CIFEMA UMSS como «ir y venir». Una vez concluidos los ajustes, el prototipo fue llevado a campo para ser validado con los criadores de camélidos que dieron una retroalimentación *in situ* posterior a las demostraciones de uso realizadas en condiciones reales. Esto permitió medir la eficiencia del equipo y la funcionalidad en condiciones reales (Stemmer et al., 2017). Estos procesos de diálogo de saberes permitieron acelerar el diseño, precisar detalles constructivos y garantizar el cumplimiento de requisitos mínimos y funcionalidad total. Este proyecto contribuyó a desarrollar tecnología y equipos para el sector textil de pequeña escala con la coparticipación de las mismas asociaciones de criadores. El proceso de co-diseño permitió aprovechar los conocimientos y habilidades de manera conjunta para alcanzar los requisitos de diseño mínimos. Comparando la ruta crítica que sigue CIFEMA UMSS respecto a la ruta propuesta, en la Figura 11 se observan tres tipologías diferentes: secuencia de prototipos de un solo concepto, completar el

Figura 11. Ruta crítica de factores del enfoque de ingeniería del CIFEMA dentro de la estrategia de prototipado. Fuente: elaboración propia (2020) en base a referencias de Tabla 1 y de caso de cardadora de fibra y lana



- Gestión territorial: proceso de ampliación, del control, manejo y poder de decisión del uso de los recursos que existen en un determinado espacio por parte de sus actores (Rosa et al., 2003).
- Sobre innovación: introducir cambios a un ritmo que no logra ser asumido por la población, provocando rechazo o frustración (Madoery, 2000).

trabajo en el propio centro y la utilización de materiales iguales al diseño final. Para el primer caso, al tratarse de un requerimiento de cinco prototipos con las mismas especificaciones técnicas no fue necesario crear múltiples conceptos en paralelo. Respecto a la conclusión del proyecto en el propio centro, fue complicado por la cantidad de prototipos que se fabricaron. Del mismo modo, el material resultó una limitación por la ausencia de proveedores locales de una de las piezas, que requirió ser importada de Italia.

6.3 Sistema de Compostaje Automatizado

El Sistema de compostaje automatizado utiliza técnicas diferentes al diseño final. Su diseño consolida aportes técnico-científicos de un equipo de trabajo conformado por la Universidad, el Gobierno Autónomo Municipal de Cochabamba, la empresa municipal de aseo EMSA y la Organización No Gubernamental SWISSCONTACT. Este proyecto utiliza tecnología virtual y escalamiento físico de un Prototipo 0 a escala 1:1 fabricado con materiales de descarte y monitoreado constantemente. Posteriormente, el Prototipo fue escalado (20.000:1) y probado en campo. El sistema fue dimensionado a partir de pruebas experimentales y de laboratorio, desarrolladas en la Universidad usando residuos orgánicos de diversos orígenes (mercados, comedor universitario y del relleno sanitario de K´ara K´ara) (Swisscontact, 2018). A pesar de seguir diferentes técnicas de diseño no se logró generar el impacto esperado por la ausencia de demanda, que no fue canalizada en forma directa con el usuario, sino a través de la ONG, SWISSCONTACT, pese a esta intervención, la comunidad de K´ara K´ara tuvo una demanda débil de conocimiento, primando otros intereses. Comparando la ruta crítica que sigue PITA respecto a la ruta propuesta, en la Figura 12 se observan cinco tipologías diferentes: utilización de materiales similares al diseño final, técnicas similares al diseño final, trabajo inter o transdisciplinario, inclusión de todos los componentes y funcionalidad total.

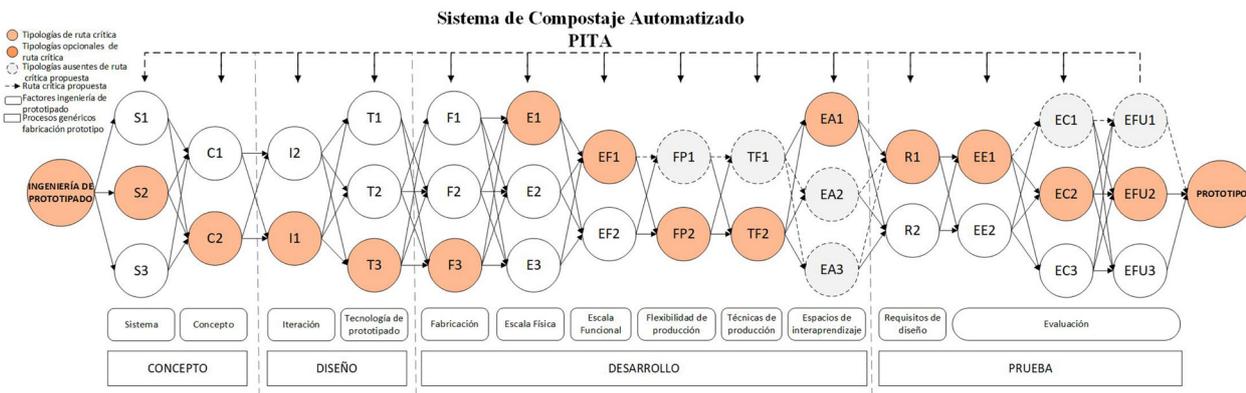
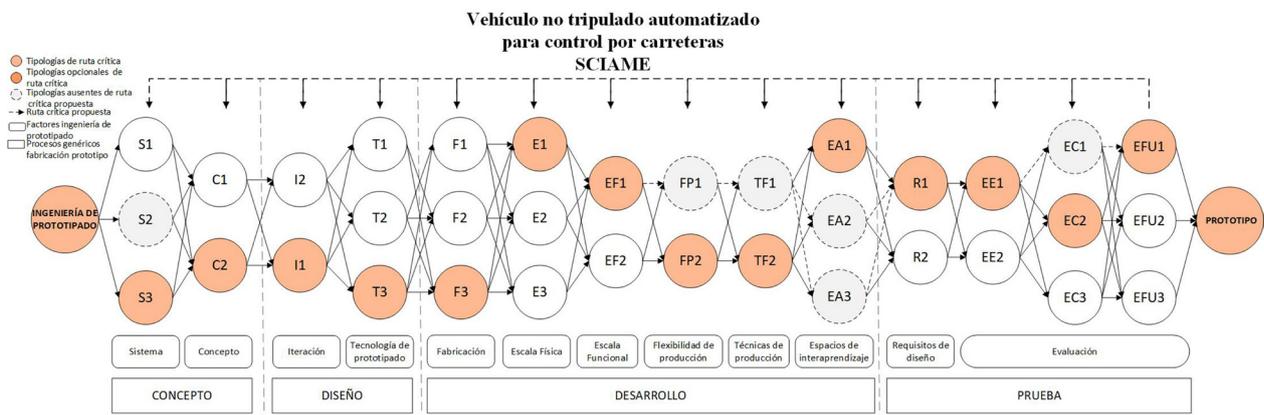


Figura 12. Ruta crítica de factores del enfoque de ingeniería de PITA dentro de la estrategia de prototipado.. Fuente: elaboración propia (2020) en base a referencias de Tabla 1 y de caso de compostaje automatizado

6.4. Vehículo no tripulado automatizado para control por carreteras

Al ser un equipo complejo y para usos de precisión. Este artefacto abarca todo el sistema de funcionamiento. Fue necesario realizar un seguimiento a todo el conjunto, incluir múltiples componentes y completar el trabajo en la propia empresa (Club de Aeromodelismo), que apoyó en el uso de sus instalaciones a la Sociedad Científica. Por la complejidad del equipo se utilizó tecnología virtual y física, procesos iterativos y secuenciales de un solo concepto y piezas de elevado costo. La falta de recursos financieros y la dificultad de conseguir algunas piezas prolongo el tiempo de fabri-

cación del prototipo. Dahan & Mendelson (1998, p. 5) encuentran que los diseños secuenciales tienen éxito en entornos con costes limitados, mientras que los diseños paralelos tienen éxito en entornos con limitaciones de tiempo. Para este caso el factor de concepto de ingeniería empleado fue el más adecuado, dada la escasa disponibilidad de presupuesto, lo que obligó a utilizar piezas electrónicas de bajo costo. Estas limitantes de presupuesto y materiales influyeron en el alcance del vehículo no tripulado, con algunas especificaciones técnicas. Respecto a la ruta crítica que sigue SCIAME comparado con la ruta propuesta, en la Figura 13 se observan 5 tipologías diferentes: un conjunto de subsistemas, la utilización de materiales similares al diseño final, técnicas similares al diseño final, trabajo inter o transdisciplinario y la inclusión de todos los componentes.



Conclusiones

Las lecciones aprendidas para la estructuración de una estrategia de prototipado, emergentes de las experiencias en centros de investigación de la UMSS desde el enfoque de Ingeniería de Prototipado, establecen que es necesario priorizar los factores de concepto, iteración, tecnología de prototipado, fabricación-manufactura, escalamiento funcional y físico, técnicas de fabricación, requisitos de diseño a través del FMEA, espacios de interaprendizaje y evaluación del prototipo sea de ajuste, estética y de funcionalidad. Los factores de ingeniería de prototipado mencionados participan en orden coherente, oportuno e iterativo en los procesos genéricos de fabricación de prototipos de los centros de investigación de la UMSS. Pese a que los cuatro casos de estudio han sido conducidos bajo los factores de ingeniería de prototipado mencionados, no utilizan las tipologías clave para una ingeniería eficiente como: utilización de materiales y técnicas similares al diseño final, fabricación del prototipo en el centro de investigación, salvo que existan políticas internas que faciliten alianzas o subcontratación, cuando corresponde con otros centros u empresas; contar con un conjunto de subsistemas, espacios de aprendizaje inter y transdisciplinarios, inclusión de todos los componentes y funcionalidad total del equipo.

Los centros de investigación de la UMSS vinculados a los casos de estudio, eligieron las tipologías de ingeniería de prototipado basados principalmente en acumulación de conocimiento práctico, producto de la experiencia de docentes-investigadores, estudiantes y técnicos. El enfoque de Ingeniería de Prototipado fue reactivo antes que sistemático. Destacan los aprendizajes de los casos de estudio desarrollados por los Centros CIFEMA UMSS y PDF, dado que las tipologías de ingeniería de prototipado de estos Centros se ajustan a las tipologías propuestas. Adicionalmente, ambos casos

Figura 13. Ruta crítica de factores del enfoque de ingeniería de SCIAME dentro de la estrategia de prototipado.. Fuente: elaboración propia (2020) en base a referencias de Tabla 1 y de caso de vehículo tripulado automatizado para control por carreteras

facilitan el involucramiento de todos los participantes en un proceso de co-diseño para fabricación del prototipo a través de una investigación interdisciplinaria, con perspectiva de alcanzar la transdisciplinariedad.

Los centros de investigación de la UMSS pueden aprovechar las oportunidades que brinda el enfoque de interacción sistémica basado en desarrollo de conglomerados productivos (clúster), actualmente impulsados desde el Instituto de Investigación de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la UMSS a través del programa de Unidad de Transferencia de Tecnología⁴. La concepción de clúster se da como una plataforma permanente de interacción, en la que se pueden articular las demandas específicas (de los gobiernos y los agentes socio productivos) (Acevedo et al., 2015) y alcanzar una solución a través de una investigación inter o transdisciplinaria. Las premisas para el abordaje de las investigaciones deben ser medibles, alcanzables, relevantes y en tiempos razonables.

El método presentado no es exhaustivo en términos de abordar todas las cuestiones relacionadas con la creación de prototipos, por lo que sigue habiendo más oportunidades para mejorar la estrategia y crear nuevos métodos similares que permitan «subir en la cadena». Esto implicará abarcar al mismo tiempo el enfoque «empresarial» o enfoque de gestión de prototipado, que permita explicar el impacto de las decisiones en el fondo de recursos de un proyecto.

Referencias

- Acevedo, C. G., Céspedes, W. M. H., & Zambrana, J. E. (2015). «Developmental University» approaches in developing countries: Case of the Universidad Mayor de San Simón, Bolivia. In *Developing Inclusive Innovation Processes and Co-evolutionary approaches in Bolivia* (pp. 53–72). Blekinge Institute of Technology.
- Adams, R. S., Daly, S. R., Mann, L. M., & Alba, G. D. (2011). Being a professional: Three lenses into design thinking, acting, and being. *Design Studies*, 32(6), 588–607. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2011.07.004>
- Alcántara, V. (2015). 20 años de la Industria Metalmeccánica en América Latina (pp. 16–18). Revista Metalmeccánica-Agosto 2015.
- Anderl, R., Mecke, K., & Klug, L. (2007). Advanced Prototyping With Parametric Prototypes. *Digital Enterprise Technology*, 503–510. https://doi.org/10.1007/978-0-387-49864-5_59
- Arocena, R., Goransson, B., & Sutz, J. (2018). *Developmental Universities in Inclusive Innovation Systems*. Springer Nature. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-64152-2>
- Bermúdez, L. M. (2014). La urgencia de una concepción transdisciplinaria en la construcción del conocimiento. *Ciencia y Poder Aéreo*, 9(1), 151. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.144>
- Bernstein, J. H. (2015). Transdisciplinarity: A review of its origins, development, and current issues. *Journal of Research Practice*, 11(1).

4. La Unidad de Transferencia de Tecnología (UTT) creada el 2004, es un programa de investigación más inclusivo y contextualizado que promueve el desarrollo económico local (DICYT, 2012).

- Blomkvist, J., & Holmlid, S. (2011). Existing Prototyping Perspectives: Considerations for Service Design. *Nordic Design Research Conference*, 1–10.
- Buchenau, M., & Fulton Suri, J. (2000). Experience prototyping: Gathering rich understandings to guide design. *Emerging Research and Trends in Interactivity and the Human-Computer Interface*, 425–433. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-4623-0.ch011>
- Bunge, M. (2002). *Crisis y reconstrucción de la filosofía*.
- Camburn, B. A., Dunlap, B. U., Linsey, J. S., Crawford, R. H., & Wood, K. L. (2013). *Methods for Prototyping strategies in Conceptual Phases of Design*. 1–10.
- Camburn, B., Viswanathan, V., Linsey, J., Anderson, D., Jensen, D., Crawford, R., Otto, K., & Wood, K. (2017). Design prototyping methods: state of the art in strategies, techniques, and guidelines. *Design Science*, 3(Schrage 1993), 1–33. <https://doi.org/10.1017/dsj.2017.10>
- CEPAL, N. (2015). *Estudio Económico de América Latina y el Caribe* (Naciones U).
- CNI. (2019). Propuesta de Política Industrial para Bolivia. In *Camara Nacional De Industrias*. http://www.cnibolivia.com/publ/235_politica-industrial-cni-2019-1.pdf
- Correo del Sur. (2017). *La pujante metalmecánica requiere de más apoyo para expandirse*. Correo Del Sur. https://correodelsur.com/capitales/20170307_la-pujante-metalmecanica-requiere-de-mas-apoyo-para-expandirse.html
- Crabtree, B. F., & Miller, W. F. (1992). A template approach to text analysis: Developing and using codebooks. In *Doing qualitative research*. (pp. 93–109). Sage Publications, Inc.
- Creswell, J. W. (2014). *Research Design Qualitative, Quantitative and Mixed Methods Approaches* (4 th).
- Dahan, E., & Mendelson, H. (1998). *Optimal Parallel and Sequential Prototyping in Product Design*. *October*, 1–38.
- Delgado, F., & Rist, S. (2016). *Ciencias, diálogo de saberes y transdisciplinariedad Aportes teórico metodológicos para la sustentabilidad alimentaria y del desarrollo* (F. Delgado & S. Rist (eds.)).
- Department of Defense/U.S General Services. (2018). *Prototyping Guidebook Office of the Under Secretary of Defense for Research and Engineering Emerging Capability and Prototyping*. 2018.
- DICYT, (Dirección de Investigación Científica y Tecnológica). (2012). Cooperation between UMSS and SIDA 2013-2017. *Cochabamba: Universidad Mayor de San Simon (UMSS)*, 1–44.
- Eggert, R. J. (2005). Engineering design LK - <https://boisestate.on.worldcat.org/oclc/54693075>. In *Pearson/Prentice Hall*. Pearson/Prentice Hall.
- Eppinger, S. D., Fine, C. H., & Ulrich, K. T. (1990). Interdisciplinary Product Design Education. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 37(4), 301–305. <https://doi.org/10.1109/17.62330>
- Exner, K., Lindow, K., Stark, R., Angeseva, J., Bahr, B., & Nagy, E. (2016). A transdisciplinary perspective on prototyping. *2015 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation/ International Technology Management Conference, ICE/ITMC 2015*. <https://doi.org/10.1109/ICE.2015.7438659>

- Galán, C., Balvanera, P., & Castellarini, F. (2012). Políticas públicas hacia la sustentabilidad: Integrando la Vision Ecosistemica. In *CONABIO, Mexico* (Vol. 1, Issue 1). CONABIO. <https://doi.org/10.22201/iies.0000003e.2009>
- Gordon, V. S., & Bieman, J. M. (1993). Reported effects of rapid prototyping on industrial software quality. *Software Quality Journal*, 2(2), 93–108. <https://doi.org/10.1007/BF00590438>
- Gutierrez, F. (2016). Informe sobre el Desarrollo de Proyectos I + D (Aspectos cuantitativos) Versión final. *Programa de Cooperación a La Investigación Científica*, 1–177.
- Hallgrimsson, B. (2012). Prototyping and Model Making for Product Design. *CEUR Workshop Proceedings*, 1542, 33–36. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Hilton, E., Linsey, J., & Goodman, J. (2015). *Understanding the Prototyping Strategies of Experienced Designers*.
- Houde, S., & Hill, C. (1997). What do Prototypes Prototype? *Handbook of Human-Computer Interaction*, 367–381. <https://doi.org/10.1016/b978-044481862-1.50082-0>
- Imai, M. (2006). *The Key to Japan's competitive Success*. New York: McGraw-Hil.
- Jensen, M., Balters, S., & Steinert, M. (2015). MEASURING PROTOTYPES - A STANDARDIZED QUANTITATIVE DESCRIPTION OF PROTOTYPES AND THEIR OUTCOME FOR DATA COLLECTION AND ANALYSIS. *ICED-International Conference on Engineering Design*, 15(July), 1–14.
- Katz, J. M. (1986). *Desarrollo y Crisis de la capacidad tecnologica latinoamericana-El caso de la industria metalmecanica*.
- Kelley, T. (2010). Prototyping is the shorthand of innovation. *Design Management Journal (Former Series)*, 12(3), 35–42. <https://doi.org/10.1111/j.1948-7169.2001.tb00551.x>
- Lee, Y. (2008). Design participation tactics: the challenges and new roles for designers in the co-design process. *CoDesign*, 4(1), 31–50. <https://doi.org/10.1080/15710880701875613>
- Liao, Y., Liao, K., & Hutchinson, R. (2009). A conceptual framework for prototyping outsourcing in new product development. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 1(21), 122–138.
- Luna, E., & Rodriguez, L. (2011). Pautas para la elaboración de estudios de caso. *Lecciones Aprendidas*, 10. <http://econpapers.repec.org/RePEc:idb:brikps:13018>
- Madni, A. (2007). Transdisciplinarity: Reaching Beyond Disciplines To Find Connections. *Journal of Integrated Design and Process Science*, 11, 1–11.
- Madoery, O. A. (2000). *La formación de agentes de desarrollo local: ¿ cómo contribuir desde la universidad a la gestión territorial?*
- Mathias, D., Hicks, B., Snider, C., & Ranscombe, C. (2018). Characterising the affordances and limitations of common prototyping techniques to support the early stages of product development. *Proceedings of International Design Conference, DESIGN*, 3, 1257–1268. <https://doi.org/10.21278/idc.2018.0445>
- Moe, R. E., Jensen, D. D., & Wood, K. L. (2004). *DETC2004-57221 PROTOTYPE PARTITIONING BASED ON REQUIREMENT FLEXIBILITY*. 1–13.

- Murillo, L. G. (2016). Alternativa para reducir la dependencia de precios volátiles de las materias primas , y altos niveles de pobreza y desigualdad social en América Central Contenido. *Fundacion Friedrich Ebert Stiftung, Diversificacion de la Matriz Productiva*, 1–35.
- Peñuela, A. (2005). L. Alejandro Peñuela Velásquez*. *Andamios*, 43–77.
- Pericon, A., Jacobs, A., Nina, R., Arratia, M., & Martinez, R. (2019). Plan de Desarrollo 2014 – 2019. *Departamento de Relaciones Públicas y Protocolo*, 1–115.
- Pita Fernández, S., & Pértega Díaz, S. (2004). *Asociación de variables cualitativas: test de Chi-cuadrado*. www.fisterra.com
- PROBOLIVIA. (2019). *Complejo Productivo Integral de Metalmeccanica*. <https://www.probolivia.gob.bo/>
- Ramirez, T. (2000). *Universidad mayor de San Andres*. Universidad Mayor de San Andrés.
- Reich, Y., Konda, S. L., Monarch, I. A., Levy, S. N., & Subrahmanian, E. (1996). Varieties and issues of participation and design. *Design Studies*, 17(2), 165–180. [https://doi.org/10.1016/0142-694X\(95\)00000-H](https://doi.org/10.1016/0142-694X(95)00000-H)
- Rodríguez, E., Carreras, I., & Sureda, M. (2012). *Innovar para el cambio social. De la idea a la acción*. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Innovar+para+el+cambio+social.+De+la+idea+a+la+acci?n#0>
- Rojas, L., Puello, J., Elias, A., Gambina, J., Morales, J., & Romero, F. (2015). *Neoliberalismo en AMERICA LATINA - Crisis, tendencias y alternativas*.
- Rosa, H., Gómez, I., & Kandel, S. (2003). Gestión Territorial Rural: Enfoque, Experiencias y Lecciones de Centro américa. *Programa Salvadoreño de Investigacion Sobre Desarrollo y Medio Ambiente*, 1–52.
- Sampieri, R. (2014). Metodología de la Investigación. In C. Fernández C & P. Baptista L (Eds.), *McGraw-Hill/ Interamericana Editores, S.A. DE C.V.* (6 ta Edici, Vol. 6, Issue 385). <https://doi.org/10.1192/bjp.111.479.1009-a>
- Sanders, E. (2006). Design Research in 2006. *Design Research Quarterly*, 1(September), 1–25.
- Schrage, M. (2000). *Michael Schrage-Serious play_ how the world's best companies simulate to innovate-Harper Business School Press (2000).pdf*.
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*. ASQ Quality Press. <https://books.google.es/books?id=TTxl8jbTkVwC>
- Stemmer, A., Caballero, T., & Zambrana, L. (2017). *ADAPTACIÓN TECNOLÓGICA PARA TRANSFORMACIÓN DE FIBRAS DE RAZAS LOCALES : CARDADORAS Y RUECAS*. 10, 19–26.
- Sutz, J. (2005). The role of universities in knowledge production. *Himalayan Journal of Sciences*, 3(5), 53–56. <https://doi.org/10.3126/hjs.v3i5.462>
- Swisscontact. (2018). Proyecto Biogás-Producción sostenible a gran escala de abono orgánico y biogás con residuos orgánicos del sistema de aseo urbano. *Cooperación Suiza En Bolivia*, 24. https://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Bolivia/Documents/Content/BIOGAS_Baja_resolucion.pdf

- Taffe, S. (2015). The hybrid designer/end-user: Revealing paradoxes in co-design. *Design Studies*, 40, 39–59. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2015.06.003>
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2012). Product Design and Development: Fifth Edition. In *McGraw-Hill*. <http://www.ulrich-eppinger.net/>
- UMSS. (2018). *Explorando San Simon: Una mirada al pasado, el presente y nuestra proyección al futuro* (R. Ferrufino Joffré (ed.); Segunda ed).
- UMSS. (2012). Universidad en Cifras 2012. Cochabamba-UMSS. *Universidad Mayor de San Simon*.
- UMSS, D. (2011). Trilladora - Vendeadora una innovación que permite maximizar la cosecha de grano para pequeños agricultores. *Agropecuaria y Agroindustria-Ofer-ta Tecnológica DTAA0009*, 1–2.
- Uribe, T. O., Mastrangelo, M. E., Torrez, D. V., Piaz, A., Vallejos, M., Eduardo, J., Ceja, S., Gallego, F., Peña, L. C., Mellado, N. E., Flores, J. F., Mairhofer, R. G., Espino, Z. G., Salguero, L., Martínez-Peralta, C. M., Ochoa, O., Volkow, L. P., Emilio, J., Sánchez-Rose, I., ...Maass, M. (2014). Estudios transdisciplinarios en socio-ecosistemas: reflexiones teóricas y su aplicación en contextos latinoamericanos. *Investigación Ambiental*, 6(2), 123–136.
- Viswanathan, V. K. C. (2012). *Cognitive Effects of Physical Models in Engineering Idea Generation*. December. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Viswanathan, V. K., & Linsey, J. S. (2012). Build to learn: Effective strategies to train tomorrow's designers. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*.
- Wood, K. L., Jensen, D., Bezdek, J., & Otto, K. N. (2001). Reverse Engineering and Re-design: Courses to Incrementally and Systematically Teach Design. *Journal of Engineering Education*, 90(3), 363–374. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2001.tb00615.x>
- Ziegler, K. K., Wood, K. L., Crawford, R. H., Christie, E. J., Jensen, D. D., Buckley, R. T., & Menefee, D. A. (2012). Prototyping strategies: Literature review and identification of critical variables. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*, June, 1–23.