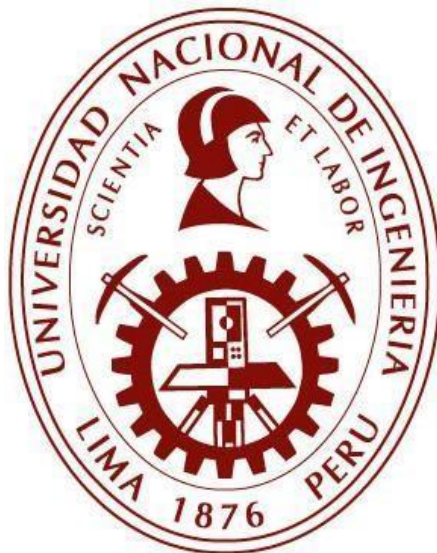


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y SISTEMAS



TESIS

**INGENIERÍA, PARA PROCESOS DE INNOVACIONES Y
DESARROLLOS, CON EMPRENDIMIENTOS Y ACTUACIONES
SOCIALES SOSTENIBLES**

**PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:
DOCTOR EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**ELABORADA POR:
MG. JULIO EDGARDO LU CHANG-SAY
ORCID iD 0000-0001-5766-1393**

**ASESOR:
DR. JOSE CARLOS ALVAREZ MERINO
ORCID iD 0000-0002-2459-9236**

LIMA - PERÚ

2025

DEDICATORIA

*Dedico esta tesis a mi mentora y madre,
Victoria Chang-Say Vda. de Lu, quien ya
descansa en paz. A pesar de haber enviudado
cuando yo tenía apenas 14 años y de asumir la
responsabilidad de criar a mis cinco hermanos
menores, su increíble capacidad e inteligencia
le permitieron siempre procurarnos lo mejor a
su alcance. Gracias a su dedicación, recibimos
la mejor educación posible.*

*Siempre estuvo presente con sus consejos y
recomendaciones, y hasta el último día de su
vida no dejó de preocuparse ni de esforzarse
por hacer de sus hijos mejores personas y
profesionales. Esta tesis es el fruto del legado
que ella forjó para nuestra familia.*

*Hoy tengo la dicha y la responsabilidad de
transcribirlo, con la esperanza de que sea un
beneficio no solo para sus hijos, sino también
para el mundo.*

AGRADECIMIENTO

Una mención muy especial al Arq. Mag. Ing. Ambiental, Augusto Lanao Marque, mi amigo y referente en temas ambientales, quien hoy descansa en paz. Sin sus enseñanzas y el continuo intercambio de ideas, estoy seguro de que jamás habría encontrado la motivación suficiente para realizar esta tesis doctoral en Ingeniería Industrial, enfocada en los procesos de IDEAS sostenibles.

A José Carlos Álvarez y Juan Carlos Sotelo, no solo por ser asesores de tesis, sino también por ser mentores excepcionales que siempre alentaron y estimularon mi pensamiento científico, innovador y creativo.

A mis jurados, asesores, maestros y compañeros del doctorado, por compartir sus valiosos conocimientos y experiencias, que han enriquecido y validado mis propias ideas y aprendizajes en este campo.

A mi hermano Estuardo Lu Chang-Say y mis hermanas, así como a mi tío Vicente Chang-Say Yon, quienes, a pesar de sus observaciones y críticas, siempre han estado dispuestos a apoyar y ayudar en todo lo que ha estado a su alcance.

A mi esposa, mis hijas y mi hijo, cuyo sacrificio y comprensión hicieron posible que concluyera mis estudios de doctorado y lograra la realización de esta tesis. A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento.

INDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
INDICE	iv
RESUMEN.....	xiii
DESCRIPTORES TEMATICOS.....	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	6
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
1.1. ANTECEDENTES DE LA PROBLEMÁTICA	7
1.2. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	11
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	13
1.3.1. LAS PREGUNTAS EN INVESTIGACIÓN	13
1.4. EL PROBLEMA EN INVESTIGACIÓN	14
1.4.1 PROBLEMA GENERAL	14
1.4.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	15
1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.6. ALCANCE	16
1.7. OBJETIVOS.....	16
1.7.1. OBJETIVO GENERAL:	16
1.7.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS	17

CAPÍTULO II	18
MARCO TEÓRICO	18
2.1 LA SOSTENIBILIDAD	18
2.1.1. PARADIGMAS DE LA SOSTENIBILIDAD.....	18
2.1.2. MARCO CONCEPTUAL DE LA GESTIÓN SOSTENIBLE	20
2.2 LOS CICLOS OPERATIVOS EN LOS PROCESOS.....	23
2.3 MODELO ESTRATÉGICO DE NEGOCIO SOSTENIBLE - MENS...	24
2.4 EL CICLO DE CREACIÓN DE BENEFICIOS MARGINALES EN LAS EMPRESAS Y SU IMPACTO EN LA SOCIEDAD	25
2.4.1. MAXIMIZACIÓN DE LOS BENEFICIOS MARGINALES O THROUGHPUT.....	25
2.5 PRODUCTIVIDAD TOTAL DE LOS FACTORES.....	29
2.6 ECONOMIA CIRCULAR	32
2.7 EL CICLO PARA EL DESARROLLO ECONÓMICO, EN LA CREACIÓN DEL CAPITAL HUMANO, NATURAL Y MATERIAL	35
2.8 EVALUACIÓN EXERGÉTICA Y PROYECTIVA DE LOS PROCESOS	37
2.8.1. UNIDADES:	37
2.8.2. EVALUACIÓN EXEGÉTICA.....	37
2.8.4. CASOS DE APLICACIÓN DE ANÁLISIS EXEGÉTICO:.....	38
2.9 HUELLA DE CARBONO	39
2.9.1. TONELADA DE HC (CO ₂) IGUAL A TONELADAS DE MATERIA VIVA CONSUMIDA (MVC).....	41
2.9.2. EL PROCESO DE CONVERSIÓN DE CO ₂ A BIOMASA	41
CAPITULO III.....	43
ESTADO DEL ARTE	43
3.1. MODELO DE GESTION ESTRATEGICA.....	43
3.1.1. MODELO (M) SEGÚN DIVERSOS AUTORES:	44
3.2. GESTIÓN ESTRATÉGICA (GE)	44
3.2.1. DEFINICIÓN DE MODELO DE GESTIÓN ESTRATÉGICA (MGE):	45

3.3.	LA INGENIERIA INDUSTRIAL Y LA GESTIÓN ESTRATEGICA DE LOS PROCESOS SOSTENIBLES	50
CAPÍTULO IV		54
LA INGENIERIA PARA LA GESTIÓN ESTRATEGICA DE LOS PROCESOS SOSTENIBLES		54
4.1.	MÉTODO:	54
4.2.	EJECUCIÓN DEL MÉTODO	55
4.3.	MODELO 9PGESP:	62
4.4.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS CLAVES:	63
4.4.1	EL PROCESO DE CONVERSIÓN DE CO ₂ A BIOMASA	64
4.4.3	INTEGRACIÓN TOC, LEAN	66
4.4.4	ECONOMÍA CIRCULAR Y DESARROLLO DE LOS CAPITALES EN LA ECONOMÍA	68
4.5.	ELEMENTOS ESTÁNDAR PARA LOS MGEPS	68
CAPÍTULO V		71
DESARROLLO DEL TRABAJO DE TESIS.....		71
5.1.	LA VARIABLE DEPENDIENTE	72
5.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	72
5.3.	UNIDAD DE ANÁLISIS	74
5.3.1.	PROPUESTA DE SOLUCIÓN:	74
5.3.2.	PROBLEMA EN INVESTIGACIÓN	75
5.3.3.	PERIODO DE ANÁLISIS	78
5.3.4.	FUENTES DE INFORMACIÓN E INSTRUMENTOS UTILIZADOS..	78
5.3.5.	TÉCNICAS O PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS	79
5.4.	DEFINICIONES CONCEPTUALES Y OPERATIVAS DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE: INGENIERÍA	79
5.4.1.	DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	79
5.4.2.	DEFINICIONES OPERATIVAS	80

5.5.	DEFINICIONES CONCEPTUALES Y OPERATIVAS DE LA VARIABLE DEPENDIENTE: COMPETITIVIDAD	81
5.5.1.	DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	81
5.5.2.	DEFINICIONES OPERATIVAS.....	82
5.5.3.	INDICADORES DE COMPETITIVIDAD	83
5.6.	HIPÓTESIS.....	84
5.6.1.	HIPÓTESIS GENERAL.....	84
5.6.2.	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	84
5.7.	VARIABLES EN INVESTIGACIÓN	84
5.7.1.	VARIABLES INDEPENDIENTE	85
5.7.2.	VARIABLE DEPENDIENTES.....	85
5.8.	OPERATIVIZACIÓN DE VARIABLES.....	87
5.8.1.	VARIABLE INDEPENDIENTES: INGENIERÍA.....	87
5.8.2.	VARIABLES DEPENDIENTES: COMPETITIVIDAD DEL PROCESO DE IDEAS SOSTENIBLES.....	88
5.9.	PROSPECTIVA DE ESCENARIOS, MEDIANTE CADENAS DE MÁRKOV.	91
5.10.	POBLACIÓN Y MUESTRA	94
5.10.1.	POBLACIÓN:.....	94
5.10.2.	MUESTRA	94
5.10.3.	IDENTIFICACIÓN DE EXPERTOS	94
5.10.4.	CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO.....	95
5.11.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.....	95
5.12.	RECOMPILACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS (TABULACIÓN UTILIZANDO MATLAB).....	96
5.13.	FICHA DE REGISTRO DE ESCENARIOS Y SIMULACIONES EN MATLAB.....	102
5.14.	EVALUACIÓN EXERGÉTICA PROYECTIVA	104
CAPÍTULO VI.....		110
ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS		110
6.1.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	110

6.1.1	APLICANDO SIMULACIÓN DE PROCESOS ESTOCASTICOS DISCRETOS	110
6.1.2	ANÁLISIS DE RESULTADO DE SIMULACIONES DE ESCENARIO.....	111
6.1.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS, EN LA EVALUACIÓN EXERGÉTICA.....	111
6.1.4	ANÁLISIS INFERENCIAL, CONSTRATACIÓN Y/O PRUEBA DE HIPÓTESIS	114
6.2.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	114
6.3.	IMPACTO Y APLICACIONES PRÁCTICAS DEL ESTUDIO.....	115
CAPÍTULO VII		117
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		117
7.1	CONCLUSIONES	117
7.2	RECOMENDACIONES	119
REFERENCIAS		122
ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN		122
LIBROS Y MANUALES.....		134
ANEXOS		

FIGURAS

FIGURA 1:	EL CALENTAMIENTO GLOBAL	1
FIGURA 2:	EL CICLO DE LA ENERGIA <> MATERIA VIVA O BIOMASA.....	4
FIGURA 3:	LOS 5 PRÓPÓSITOS CLAVE DE LOS ODS	5
FIGURA 4:	HECTAREAS PÉRDIDAS DE BOSQUE - PERÚ	7
FIGURA 5:	LA DEVALORIZACIÓN DE LA AMAZONÍA	8
FIGURA 6:	PBI, LA PRODUCCIÓN E INTERCAMBIO DE RECURSOS EN LA ECONOMÍA.....	9
FIGURA 7:	LA CAÍDA RECIENTE DEL IDH FUE GENERALIZADA: MÁS DEL 90% DE LOS PAÍSES SUFRIÓ UNA DISMINUCIÓN DEL ÍNDICE EN 2020 O 2021	10
FIGURA 8:	DIFERENCIA DE LA TEMPERATURA MEDIA MUNDIAL (°C), COMPARADA CON PROMEDIO ENTRE 1850-1900	10
FIGURA 9:	LA APARICIÓN DE UN NUEVO COMPLEJO DE INCERTIDUMBRES	12
FIGURA 10:	LA AMPLITUD DEL RANGO DEL CALENTAMIENTO FUTURO POSIBLE DEPENDE DE LAS DESICIONES Y ACTUACIÓN HUMANA	12
FIGURA 11:	LA INGENIERIA DEL PROCESOS PARA INTERCAMBIOS DENTRO DE LA SOCIEDAD Y CON LA NATURALEZA	15
FIGURA 12:	EL PROCESO DEL PROGRESO DE LA CIENCIA.....	19
FIGURA 13:	LOS CICLOS OPERATIVOS PARA GESTAR, GOBERNAR Y ADMINISTRAR	23
FIGURA 14:	CANVAS DE LOS MODELO ESTRATÉGICOS DE INTERCAMBIO SOSTENIBLES.....	24
FIGURA 15:	LA COMPETITIVIDAD Y EL CICLO DE CREACIÓN DE VALOR Y BENEFICIOS	25
FIGURA 16:	RENDIMIENTO OPERATIVO DE LOS PROCESOS	26
FIGURA 17:	PRODUCTIVIDAD TOTAL DE FACTORES – PTF	29
FIGURA 18:	DINAMICA DEL SISTEMA AMBIENTAL	32

FIGURA 19: CICLO DE LA INVERSIÓN, PARA LA CREACIÓN DE VALOR Y DESARROLLO DE LOS CAPITALES, EN LA ECONOMÍA.....	35
FIGURA 20: METRICAS DE LOS PROCESOS	50
FIGURA 21: MODELO DE 9 PILARES PARA LA GESTIÓN ESTRATÉGICA DE LA SOSTENIBILIDAD	62
FIGURA 22: INTEGRACIÓN TOC-LEAN	73
FIGURA 23: ¿POR QUÉ DEFINIR Y CONTAR?.....	73
FIGURA 24: CEPA QFD PARA INVESTIGAR, CONCEBIR, GESTAR Y MEJORAR LA CAZA DE VALOR Y BENEFICOS	73
FIGURA 25: COMPETITIVIDAD Y COMPETENCIA	81
FIGURA 26: LA ACTUACIÓN SOCIAL SOSTENIBLE, SINERGICA Y RESPONSABLE DE LA SOCIEDAD CON LA NATURALEZA	86
FIGURA 27: MARCO LOGICO ESTRATÉGICOS DE LA INGENIERÍA PARA PROCESOS DE IDEAS SOSTENIBLES	88
FIGURA 28: EL PROCESO OPERATIVO PARA DESPLEGAR IDEAS SOSTENIBLES.....	89
FIGURA 29: MEJORAR LA SEGURIDAD DE LA POBLACIÓN A TRAVÉS DE LA INVERSIÓN, LOS SEGUROS Y LA INNOVACIÓN	100
FIGURA 30: TRANSFORMAR NUESTRO MUNDO PARA IMPULSAR EL DESARROLLO HUMANO, ALIVIANDO AL MISMO TIEMPO LAS PRESIONES PLANETARIAS	101
FIGURA 31: EN LA ACTUALIDAD, LA MASA ANTROPOGÉNICA SUPERA LA BIOMASA VIVA TOTAL DEL PLANETA	101
FIGURA 32: LA RESPONSABILIDAD DE TODOS EN LA SOCIEDAD CON EL PLANETA	119

TABLAS

TABLA 1:	INDICADOR LEAN Y VERDE EN EL MAPEO DEL FLUJO DE VALOR	33
TABLA 2:	METODO VSM	34
TABLA 3:	HUELLA DE CARBONO DE PRINCIPALES BIOCOMBUSTIBLES POR:	40
TABLA 4:	HUELLA DE CARBONO DE PRINCIPALES COMBUSTIBLES FÓSILES	40
TABLA 5:	PROCESO DE CONVERSIÓN DE CO ₂ A BIOMASA	42
TABLA 6:	MODELO DE GESTIÓN ESTRATÉGICA	48
TABLA 7:	TAXONOMÍA DE TÓPICOS DE INGENIERÍA CON GESTIÓN	51
TABLA 8:	ARTÍCULOS RELACIONADOS CON TÓPICOS Y CONCEPTO DE LA INGENIERÍA INDUSTRIAL Y LA GEP (2023)	52
TABLA 9:	ARTÍCULOS RELACIONADOS CON TÓPICOS Y CONCEPTO DE LA INGENIERÍA INDUSTRIAL Y LA GEP (2022-2006)	49
TABLA 10:	INVENTARIO DE ELEMENTOS POR COMPONENTE EN LOS MODELOS IDENTIFICADOS	55
TABLA 11:	COMPONENTES CLAVE HOMOLOGADOS DE UN MGE.....	58
TABLA 12:	IMPACTO SEGÚN AUTORES DE LA INTEGRACIÓN CE CON CC, EN LOS 16 MGE IDENTIFICADOS	59
TABLA 13:	COMPONENTES CLAVES Y ELEMENTOS DEL MGEPS	61
TABLA 14:	PROCESO DE CONVERSIÓN DE CO ₂ A BIOMASA	64
TABLA 15:	MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	70
TABLA 16:	ESCENARIO INICIAL DE CONSUMO MARGINAL DE LA AMAZONIA	92
TABLA 17:	MATRIZ DE OPERATIVIZACIÓN DE VARIABLES	95
TABLA 18:	EXPERTOS.....	95
TABLA 19:	SUPERFICIE DEFORESTADA DEL PERÚ, SEGÚN DEPARTAMENTO, 1985, 1995 Y 2000	97

TABLA 20:	PRODUCCIÓN DE MADERA ASERRADA, SEGÚN ESPECIE FORESTAL, 2004-2014.....	98
TABLA 21:	IMPORTACIÓN DE LOS PRINCIPALES PRODUCTOS FORESTALES MADERABLES, 2004 - 2014.....	99
TABLA 22:	PROPECTIVA DE FACTORES CLAVES, ESCENARIO 1.....	99
TABLA 23:	PROPECTIVA DE FACTORES CLAVES, ESCENARIO 2.....	99
TABLA 24:	PROPECTIVA DE FACTORES CLAVES, ESCENARIO 3.....	103
TABLA 25:	SUPUESTOS	106
TABLA 26:	FLUJO DE CAJA PROYECTADO PARA UN ATA.....	107
TABLA 27:	SUPUESTOS	108
TABLA 28:	FLUJO DE CAJA PROYECTADO PARA PROGRAMA ATA	108
TABLA 29:	PROPECTIVA DE FACTORES CLAVES, ESCENARIO 4.....	111
TABLA 30:	TIR DE UN ATA.....	112
TABLA 31:	TIR PROGRAMA ATA.....	113
TABLA 32:	FLUJO PROYECTADO DE IMPACTOS	113

RESUMEN

La investigación se centrará en aplicar Ingeniería para Procesos (IP) de Innovaciones y Desarrollos, con Emprendimientos y Actuaciones Sociales Sostenibles (IDEAS.S), cuyo objetivo es fortalecer la competitividad y capacidades de los peruanos para gestionar efectivamente la generación de valor en las dimensiones de Planeta, Personas, Procesos y Provechos. Esto permitirá un uso eficiente de los recursos naturales del país.

El estudio aplicará el enfoque IP.IDEAS.S en el caso del bosque Amazónico, integrando diversas herramientas de gestión para formular propuestas estratégicas de emprendimiento. Se utilizará el modelo CANVAS para definir los componentes clave del negocio, mientras que la metodología de Checkland ayudará a identificar a los grupos de interés, sus visiones y las condiciones ambientales. Además, el Balance Scorecard (BSC) permitirá equilibrar cuatro perspectivas estratégicas, y la Casa de la Calidad (QFD) optimizará la toma de decisiones técnicas.

El enfoque también integrará el Sistema de Producción Toyota (TPS), la Manufactura Esbelta y la Teoría de Restricciones para gestionar y mejorar continuamente los flujos de valor en la cadena de suministro sostenible.

Se espera que la adopción del enfoque IP.IDEAS.S promueva intercambios sostenibles entre la naturaleza y la sociedad, desarrollando valor sinérgico que beneficie a todos los involucrados. Como resultado, los peruanos mejorarán su competitividad y capacidad para gestionar efectivamente la generación de valor, bienestar y prosperidad, contribuyendo a un desarrollo sostenible, en paz y armonía con todos incluyendo el planeta.

DESCRIPTORES TEMATICOS

Ingeniería Sostenible, IDEAS sostenibles, Competitividad, Desarrollo Sostenible, Beneficio Marginal, Inversión Sostenible, Inversión Marginal, Sostenibilidad del Planeta

ABSTRACT

The research will focus on applying Process Engineering (PE) to Innovate, Develop, and Entrepreneurship to Act Social and Sustainable (IDEAS.S), with the goal of strengthening the competitiveness and capabilities of Peruvians to effectively manage the generation of value in the dimensions of Planet, People, Processes, and Profits. This will enable efficient use of the country's natural resources.

The study will apply the IP.IDEAS.S approach to the Amazon Rainforest case, integrating various management tools to formulate strategic entrepreneurship proposals. The CANVAS model will be used to define the key components of the business, while the Checkland methodology will help identify stakeholders, their perspectives, and environmental conditions. Additionally, the Balanced Scorecard (BSC) will balance four strategic perspectives, and the Quality Function Deployment (QFD) will optimize technical decision-making.

The approach will also integrate the Toyota Production System (TPS), Lean Manufacturing, and the Theory of Constraints to effectively manage and continuously improve the value flows in a sustainable supply chain.

It is expected that adopting the IP.IDEAS.S approach will foster sustainable exchanges between nature and society, developing synergistic value that benefits all involved. As a result, Peruvians will improve their competitiveness and capacity to effectively manage the generation of wealth, socio-economic value, well-being, prosperity, and peace for everyone

.

KEYWORDS

Sustainable Process Engineering, Sustainable IDEAS, Competitiveness, Sustainable Development, Marginal Benefit, Sustainable Investment, Marginal Investment, Planet Sustainability.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo sostenible de la Amazonía peruana representa uno de los mayores desafíos en el contexto global actual. La creciente demanda de recursos naturales, junto con los efectos negativos de la deforestación, han generado desequilibrios significativos en el ecosistema amazónico, que tiene impacto global. Aunque las actividades industriales, como la explotación forestal, han impulsado el crecimiento económico de la región, este desarrollo ha sido a costa de la acelerada degradación de los recursos naturales y biodiversidad. Ante esta situación, es imprescindible formular estrategias que permitan el uso responsable y sostenible de dichos recursos, sin comprometer su regeneración ni el bienestar de las futuras generaciones.

FIGURA 1:
EL CALENTAMIENTO GLOBAL



En la actualidad, es necesario un cambio de paradigma, transformando el modelo de **economía lineal** en un **modelo de economía circular**, donde los recursos más que fluir, circulen de manera cíclica, para crear valor y beneficios entre la sociedad y la naturaleza. Este enfoque exige la creación de **cadenas de suministro de doble vía** que, además de minimizar los impactos negativos, los conviertan en impactos positivos, donde los recursos circulen de manera cíclica entre la sociedad y la naturaleza. **Donde el modelo de gestión sostenible busque** optimizar el consumo marginal del planeta y maximizar los beneficios marginales del uso cíclico de sus recursos.

Motivación personal y contexto del investigador

Mi relación con la Amazonía comenzó en 1978, durante un viaje a Pucallpa, entonces un pequeño centro poblado rodeado por la vasta selva amazónica, con solo cuatro manzanas de viviendas rurales. A lo largo de los años, fui testigo de su transformación en un centro industrial, principalmente dedicado a la extracción de madera. Sin embargo, este aparente progreso trajo consigo una grave deforestación (Ver figura 4). En 2010, observé cómo más de 100 kilómetros de selva habían desaparecido a ambos lados de la carretera hacia Pucallpa, reflejando un modelo de desarrollo insostenible.

Motivado por esta situación, en 2011 propuse un proyecto que fue financiado por **INNOVATEPERÚ**, para aprovechar la madera sin talar árboles, proyecto con el cual sustenté mi tesis de Ingeniería Industrial en 2014. En 2015, ingresé a la Maestría en Ingeniería Industrial en la Universidad Nacional de Ingeniería, donde enfoqué mi investigación en la competitividad y creación de valor en la región amazónica, bajo un enfoque sostenible. Este trabajo culminó con mi tesis de maestría titulada: "Modelo de Negocio Socioeconómico de Referencia para Incrementar la Competitividad Desarrollando Sosteniblemente la Amazonía".

La tesis fue presentada en la **Conferencia Internacional de Ingeniería Industrial y Gestión de Operaciones (IEOM 2023)**, obteniendo el primer lugar por su contribución a la sostenibilidad y la gestión estratégica de recursos naturales. Además, bajo el título "Referential Strategic Socioeconomic Business Model to Increase Competitiveness by Sustainable Development of the Amazon Forest", publiqué un artículo en **IEOM 2023**, donde se desarrolla una síntesis de esta propuesta (Anexo 3).

Propósito de la Investigación

El propósito de esta tesis doctoral es desarrollar la **ingeniería de procesos sostenibles** con un enfoque estratégico, que permita gestionar los recursos naturales de la Amazonía de manera competente y en sinergia con la naturaleza, que permita generando impactos positivos tanto en el ecosistema como en la economía regional. Para ello, se propone un marco conceptual lógico estratégico, para **investigar e identificar, Innovaciones y desarrollo, con emprendimiento y actuación social sostenible, que se constituyen en un modelo de referencia**, mediante los cuales se conciban, gesten y mejoren procesos en sinergia con el planeta, donde se optimiza el consumo marginal de los recursos y maximizando los beneficios marginales como resultado de ese consumo.

Este estudio tiene como objetivo extraer lecciones clave, para la **gestión estratégica de recursos naturales**, aplicando **cadenas de suministro de doble vía** (circular) entre la sociedad y la naturaleza, con el fin de generar beneficios económicos, sociales y ambientales de manera simultánea.

Bajo el Título “Process engineering for sustainably IDEAS (Innovation, Development and Entrepreneurship to Act Social)” se publicó artículo en LACCEI 2023, donde se explica y desarrolla esta opción (Anexo 2)

Justificación

De acuerdo con el informe sobre el consumo mundial de combustibles fósiles de la **OPEC (2023)** y el ciclo completo del CO₂ expuesto por **Lu-Chang-Say (2022)** en la **Figura 2**, aproximadamente 35 millones de toneladas de CO₂ se liberan cada día, mientras se eliminan 38 millones de toneladas de oxígeno del aire que respiramos.

Además, solo el 50% de la energía generada por fuentes fósiles se convierte en trabajo útil; el resto, equivalente a aproximadamente 75 megavatios/día, contribuye al calentamiento global, según **Jawad et al. (2016)**. Este fenómeno ha causado un aumento de más de 1°C en la temperatura global, superando los registros históricos de miles de años, como indican los informes del **IPCC (2023)**. Este incremento explica la pérdida del 50% de la masa glaciar en el Perú y el deshielo acelerado en los polos, observaciones que pueden confirmarse en fuentes como **Google**. Asimismo, estudios de la **OPEC (2023)** revelan que las reservas de combustibles fósiles se agotarán en menos de 50 años. Es decir en menos de 150 años, hemos consumido petróleo y gas, recursos generados por la biomasa de los océanos y

bosques mediante la fotosíntesis, un proceso que le tomó al planeta al menos 10 millones de años acumular.

Es importante mencionar que las actividades humanas están comprometiendo la capacidad del planeta para absorber contaminantes, especialmente afectando los océanos y la atmósfera. El ciclo de energía y materia viva, tal como se muestra en la **Figura 2**, refleja esta problemática.

El ciclo completo de la huella de carbono, expuesto en la tesis de maestría de **Lu-Chang-Say (2022)**, aplica estequiometría y tablas de termoquímica para equilibrar los procesos de **Materia - Energía - Biomasa**. Este ciclo propone una convención para realizar cálculos de huella de carbono y así tomar decisiones estratégicas sostenibles para el planeta, en línea con la investigación de **Tilsted et al. (2021)** sobre cuestiones contables para el crecimiento verde genuino en los países nórdicos.

La presente tesis adopta la **equivalencia** propuesta por **Lu-Chang-Say (2023)** sobre la relación entre huella de carbono y biomasa (materia viva):

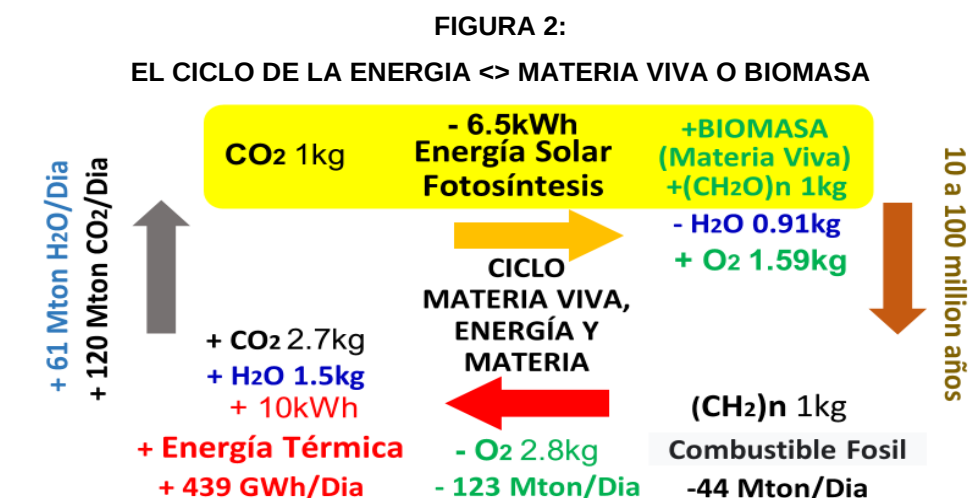
$$1 \text{ Kg de CO}_2 + 6.5 \text{ kWh de energía} = 1 \text{ Kg de biomasa}$$

Donde:

1 Kg de huella de carbono = 1 Kg de CO₂ + 4.33 kWh (energía térmica) igual a:

1 Kg de CO₂ + 6.5 kWh (energía solar) = 1 Kg de biomasa.

Por cada kilogramo de CO₂ emitido, se liberan aproximadamente 4.335 kWh de energía térmica, y se compensa con la producción de un kilogramo de biomasa. Este balance genera un saldo positivo cuando se produce y consume materia viva de manera sostenible.



Fuente: Elaboración propia, Adaptado de Tablas Termoquímicas y OPEC 2023

Cabe señalar que la acción humana prioriza la satisfacción de sus necesidades sin considerar adecuadamente los factores fisicoquímicos y biológicos del planeta. Esto rompe el equilibrio termodinámico, lo que ha llevado al aumento de más de 1°C en la temperatura global, como lo muestra la **Figura 1** y los informes del **IPCC (2023)**. Los efectos de este desequilibrio pueden analizarse y simularse mediante aplicaciones como **En-ROADS**, **Climate Solutions Simulator**, desarrollado por MIT. En este contexto, la presente tesis investiga la **INGENIERÍA, PARA PROCESOS DE INNOVACIONES Y DESARROLLOS, CON EMPRENDIMIENTOS Y ACTUACIONES SOCIALES SOSTENIBLES (IP.IDEAS.S)**, un sistema diseñado para concebir, gestar y mejorar emprendimientos que resuelvan problemáticas explotando las potencialidades de los contextos, de manera sostenible y en sinergia con el planeta. Esto contribuye a los **Cinco Propósitos Clave** de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), como se muestra en la **Figura 3**.

FIGURA 3:

LOS 5 PRÓPÓSITOS CLAVE DE LOS ODS



Los 5 Propósitos Claves de las ODS

Objetivos de Desarrollo Sostenible
Hacia el 2030
17 Objetivos Específicos
Interrelacionados a Lograr,
Alcanzando 169 Metas,
Registrando Avances en 231
indicadores de Sostenibilidad

Fuente: Elaboración propia, Adaptado de WEF.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El **calentamiento global**, la **pérdida de biodiversidad** y el **agotamiento de los recursos naturales** son algunas de las problemáticas más graves que enfrenta el planeta en la actualidad. Según el **Informe del IPCC (2023)**, el aumento de la temperatura global ya ha superado 1°C respecto a los niveles preindustriales (Ver Figura 8), lo que ha acelerado el deshielo en los polos y la desaparición del 50% de la masa glaciar en regiones como los Andes y el Himalaya (ver **Figura 1: Calentamiento Global**). Esto, sumado a la liberación diaria de aproximadamente 35 millones de toneladas de CO₂, como menciona el **Informe de la OPEC (2023)**, pone en grave peligro los ecosistemas y la vida en la Tierra.

La **deforestación de la Amazonía**, que ha perdido más del 81% de su cobertura forestal en algunas regiones, es otro desafío urgente (ver **Figura 4: Hectáreas Perdidas de Bosque - Perú**). El modelo actual de **explotación forestal**, basado en una **economía lineal**, ha generado consecuencias económicas y ambientales devastadoras, dejando como resultado un uso insostenible de los recursos naturales y la degradación de los ecosistemas.

Por ello, se requiere un nuevo **enfoque estratégico de gestión**, para concebir, gestar y mejorar procesos en sinergia con el planeta, que incluya **modelos de referencia científicamente rigurosos**, tomando en cuenta las **leyes de las ciencias naturales**, que son las que definen los límites del planeta (ver **Figura 5: Desvalorización de la Amazonía**). Ante estas leyes, las ciencias sociales y la gestión deben actuar en sinergia con ellas. En la actualidad, la triple restricción propuesta por **Elkington et al. (1999)** sigue abierta y sin respuesta adecuada. Los modelos ASG (Ambiental, Social y de Gobernanza) actuales utilizan unidades monetarias para la medición (unidades financieras); sin embargo, en la naturaleza, se deben emplear **unidades de materia y energía** para una evaluación precisa.

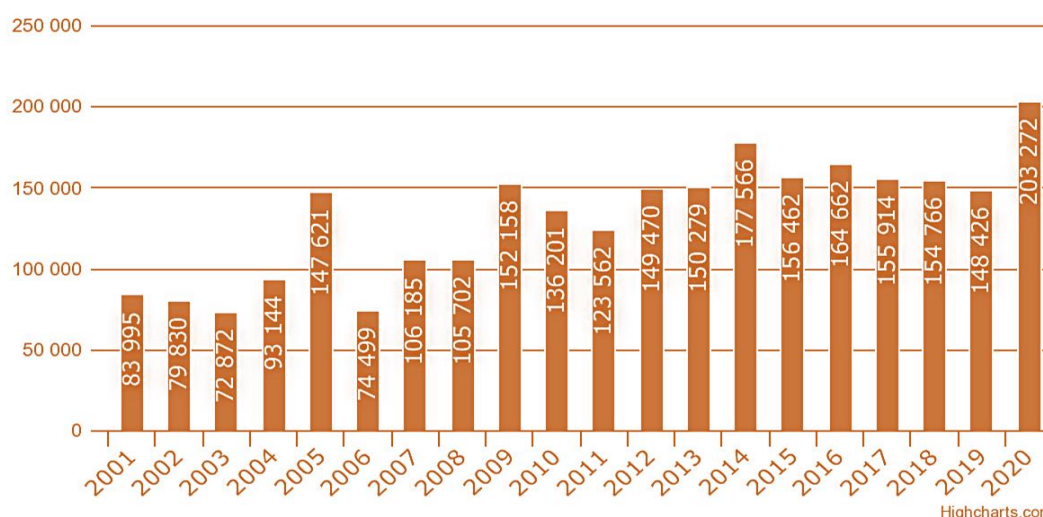
Este es un tema pendiente y evidencia una diferencia fundamental entre las Finanzas y la Economía. Que implica una **revisión conceptual** para adaptar los instrumentos y los criterios de evaluación pertinentes, un desafío que esta tesis aborda (ver **Figura 6: PBI y Producción de Recursos**).

La **economía circular** se presenta como una solución viable para este propósito, buscando transformar los **modelos lineales en modelos cíclicos** que aseguren la sostenibilidad a largo plazo. **Lu-Chang-Say (2022)** propone un enfoque en el cual cada kilogramo de CO₂ liberado pueda ser compensado mediante la producción de biomasa, específicamente 1 kg de CO₂ compensado por la creación de 1 kg de **materia viva**, que además absorbe 6.5 kWh de energía (ver **Figura 2: Ciclo de Energía y Biomasa**).

De esta forma, el problema principal radica en desarrollar y aplicar un **modelo de gestión estratégica sostenible** que pueda maximizar los **beneficios marginales** de los recursos invertidos, mientras minimiza el consumo marginal, asegurando que los procesos productivos no solo eviten impactos negativos en el planeta, sino que los transformen en **impactos positivos**

1.1. ANTECEDENTES DE LA PROBLEMÁTICA

FIGURA 4:
HECTAREAS PÉRDIDAS DE BOSQUE - PERÚ



Fuente: MINAM, CEPLAN

El estudio de imágenes satelitales realizado para el **MINAM en 2021** y otro realizado para **CEPLAN en 2023** (ver **Figura 4: Hectáreas Perdidas de Bosque - Perú**) revelan la preocupante y continua deforestación de la Amazonía peruana. Estos

informes evidencian la creciente pérdida de hectáreas de bosque amazónico, resultado de políticas deficientes que carecen de una planificación estratégica clara y sostenible. Dichas políticas no han logrado articular ni empoderar a los diversos actores involucrados, como las instituciones públicas, privadas y financieras, ni a la sociedad civil, configurando un modelo extractivo que ha acelerado la degradación del ecosistema amazónico (MINAM, 2021; CEPLAN, 2023).

En este contexto, se ha observado que el bosque cede ante el avance de la población que lo explota de manera insostenible, un proceso descrito por **Lu-Chang-Say** en su tesis de maestría (2022) y representado gráficamente en la **Figura 5: La Desvalorización de la Amazonía**. Este modelo extractivo no solo impacta negativamente el medioambiente, sino que también afecta la vida de los pobladores de la Amazonía y, a nivel global, genera un desequilibrio entre las necesidades humanas y la capacidad regenerativa de la naturaleza.

FIGURA 5:
LA DEVALORIZACIÓN DE LA AMAZONÍA



Fuente: Propia

A pesar de las advertencias tempranas, como las hechas por **Lu-Chang-Say (2014)** en su tesis de ingeniería industrial, se ha confirmado que las prácticas extractivas actuales continúan priorizando la rentabilidad financiera sobre la sostenibilidad. Este modelo maximiza ingresos a corto plazo, pero no invierte en el desarrollo de tecnologías que agreguen valor a los recursos del bosque ni en proyectos que prolonguen la vida útil del ecosistema. En cambio, se incentiva la extracción y

comercialización de productos forestales con un enfoque de reducción de costos que no agrega valor a largo plazo.

La situación se agrava por un marco legal inconsistente que fomenta la expansión de la frontera agrícola y la urbanización. Esto como señala **Checkland y Poulter (2010)** configuran situaciones estructuradas y no estructuradas, donde las políticas refuerzan la tendencia hacia un uso insostenible de los recursos naturales, no solo en el sector forestal, sino en diversos sectores, con consumo intensivo de recursos naturales como la minería, la agricultura y la pesca (**WEF, 2021; UNDP, 2021**).

FIGURA 6:
PBI, LA PRODUCCIÓN E INTERCAMBIO DE RECURSOS EN LA ECONOMÍA



Fuente: Propia adaptado de Blanchard O. (2017).

A pesar del crecimiento económico sostenido del Perú en las últimas dos décadas, como muestra el **Banco Central de Reserva del Perú (BCRP, 2023)**, este desarrollo no ha sido equitativo ni sostenible. En ese sentido el **Producto Bruto Interno (PBI)** es un buen indicador de crecimiento económico, pero no refleja el desarrollo sostenible ni la eficiencia en el uso de los recursos naturales. Esta distorsión ha sido abordada en investigaciones como la de **Lazarus (2018)**, quien desarrolló el **Indicador de Progreso Genuino (GPI)**, un mejor indicador para medir el verdadero impacto del desarrollo humano y ambiental.

Además, el informe del **Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP, 2023)** muestra que el **Índice de Desarrollo Humano (IDH)** del Perú ha tenido un crecimiento limitado en los últimos años, demostrando que el crecimiento económico no se ha traducido en una mejora sustancial del bienestar de la población.

En este escenario de colapso sistémico, el cambio climático y las múltiples crisis simultáneas (sanitaria, económica, política) reflejan la urgencia de repensar la relación entre crecimiento económico y sostenibilidad (UNDP, 2023). Según los modelos de la **COP 28**, si no se adoptan medidas transformadoras, el calentamiento global continuará exacerbando estos problemas, comprometiendo el futuro del planeta y sus habitantes.

FIGURA 7:

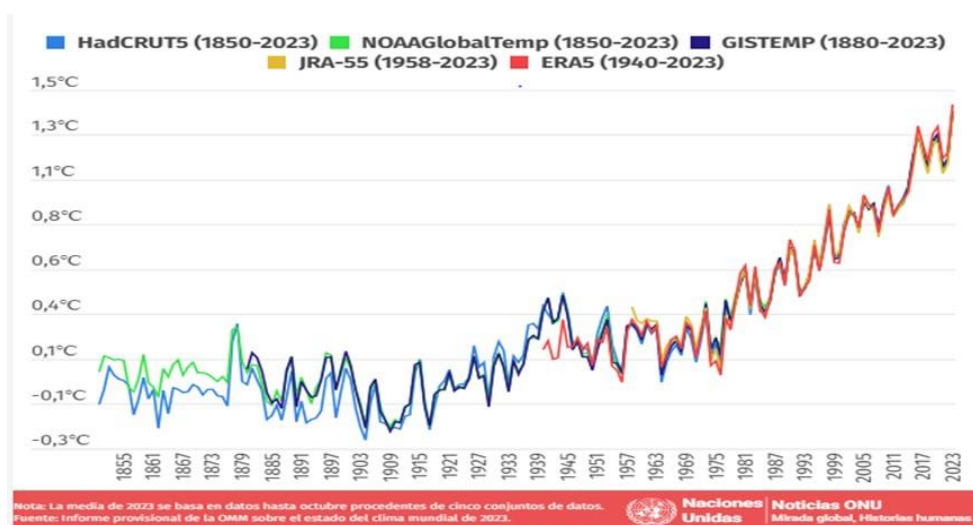
LA CAÍDA RECIENTE DEL IDH FUE GENERALIZADA: MÁS DEL 90% DE LOS PAÍSES SUFRIÓ UNA DISMINUCIÓN DEL ÍNDICE EN 2020 O 2021



Fuente: Banco Mundial (2022), Barro y Lee (2018), UNDP (2023)

FIGURA 8:

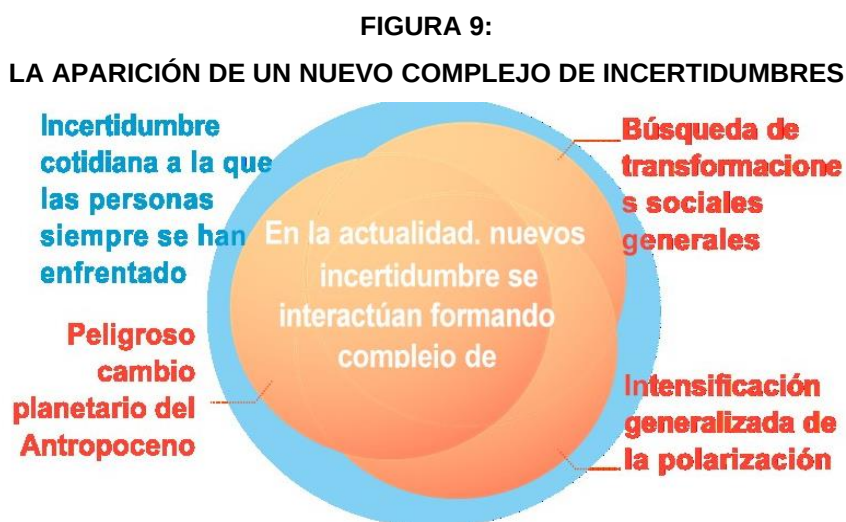
DIFERENCIA DE LA TEMPERATURA MEDIA MUNDIAL (°C), COMPARADA CON PROMEDIO ENTRE 1850-1900



Fuente: COP 28

1.2. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

El **desarrollo humano mundial** se encuentra en crisis, según el **Informe UNDP 2023** sobre el **Índice de Desarrollo Humano (IDH)**, el cual muestra una caída que iguala el nivel de los cinco años anteriores (**Figura 7, UNDP, 2023**). Esta crisis está acompañada por la aparición de un **complejo de incertidumbres a nivel mundial**, tal como se observa en la **FIGURA 9 (UNDP, 2023)**, que registra múltiples crisis simultáneas: sanitaria (**Covid-19**), económica, climática, social, política, y guerras. Dichas crisis reflejan un colapso sistémico, debido a que la sociedad y los seres humanos crecen en consumo de recursos, sin asumir responsabilidad sobre los impactos negativos que generan en el planeta. El **desarrollo humano**, tal como está gestionado actualmente, no toma en cuenta las capacidades del planeta para sostenerlo.



Fuente: Oficina del Informe sobre Desarrollo Humano (UNDP, 2023),

El **colapso sistémico global** no se limita únicamente al cambio climático; enfrentamos múltiples crisis en diferentes frentes. El **Informe sobre el Desarrollo Humano 2021-22 del UNDP (2023)** (**FIGURA 9**) revela un panorama de tiempos inciertos y vidas inestables. Las crisis agudas han dado paso a **incertidumbres crónicas**, que interactúan a escala mundial. Estas incertidumbres están influenciadas por tres grandes corrientes:

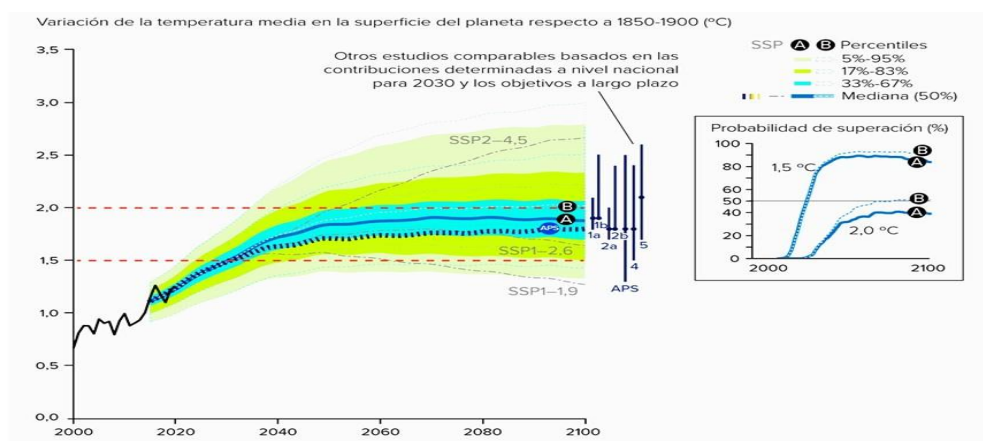
- El peligroso cambio planetario del **Antropoceno**.
- La búsqueda de transformaciones sociales de gran envergadura, al nivel de la **Revolución Industrial**.
- Las tensiones e indecisiones dentro de las sociedades polarizadas (**UNDP, 2023**).

A lo largo de la historia, los seres humanos han enfrentado crisis como guerras, pestes, y desastres naturales. Sin embargo, la magnitud de las incertidumbres actuales es nueva, y su mejor respuesta debería ser el impulso del **desarrollo humano** y la liberación de nuestras capacidades creativas y cooperativas (UNDP, 2023)

En relación con la **crisis climática y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)**, las investigaciones de **Meadows et al. (1974)**, basadas en la dinámica de sistemas de **Forrester (1969)**, ya alertaban sobre las limitaciones del planeta, para crecimiento de la sociedad. A raíz de estas advertencias, organismos multilaterales como el **UNDP**, el **WEF**, el **Banco Mundial** y otros, propusieron los **Objetivos del Milenio** a partir del año 2000. A pesar de ciertos avances, el desafío climático sigue vigente, como quedó reafirmado en el **Acuerdo de París de 2010**, con el objetivo de contribuir a los **17 ODS** y sus **5 Propósitos Clave (Figura 3, UNDP, 2023)**.

La **FIGURA 8** muestra el aumento de la **temperatura media mundial (°C)** comparada con el promedio entre 1850-1900, demostrando que el **calentamiento global** es una realidad palpable (**COP 28**). Este fenómeno, agravado por las crisis globales, pasó a un segundo plano con la crisis sanitaria de 2019, y posteriormente con la guerra entre Rusia y Ucrania en 2021. No obstante, el **calentamiento del planeta** y el incremento de la entropía continúan manifestándose (**Figura 1, IPCC, 2023**), evidenciando que los esfuerzos de los últimos 30 años no han sido suficientes para detener esta tendencia.

FIGURA 10:
LA AMPLITUD DEL RANGO DEL CALENTAMIENTO FUTURO POSIBLE DEPENDE DE LAS DESICIONES Y ACTUACIÓN HUMANA



. SSP significa “trayectoria socioeconómica compartida”.

Fuente: Meinshausen et al. (2022)

El **futuro** depende de nuestras decisiones y actuación. Según el **Reporte UNDP 2022**, los antídotos a estas incertidumbres y crisis globales residen en la **actuación humana** (**Figura 10, UNDP, 2022**), que debe basarse en cuatro principios motivadores: **flexibilidad, solidaridad, creatividad e inclusión**. Estos principios permitirán que las políticas e instituciones se adapten mejor a los desafíos actuales, facilitando **pactos** que promuevan la paz, prosperidad y sostenibilidad a largo plazo. La **Figura 10** ilustra cómo el calentamiento futuro del planeta dependerá de las decisiones humanas y las trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP), planteadas durante la **COP 26** y el **Acuerdo de París**. Sin embargo, estas decisiones deben estar acompañadas de confianza y cooperación, donde las políticas sean iterativas, basadas en el aprendizaje mutuo (**Meinshausen et al., 2022**).

En este contexto, la presente tesis, denominada **IP.IDEAS.S** (Ingeniería del Proceso para Innovar y Desarrollar, Emprender y Actuar, Social y Sostenible), explora la **ingeniería de procesos** que permite implementar IDEAS Sostenibles para mejorar la actuación social y sostenible, contribuyendo genuinamente a los **5 Propósitos Clave** de los ODS (**Figura 3, UNDP, 2023**). La tesis propone concebir, gestar y mejorar iniciativas que beneficien tanto a las personas como a la sociedad, asegurando que sean **sostenibles con el planeta**.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1. LAS PREGUNTAS EN INVESTIGACIÓN

Problemática: ¿Qué problemática abordar?

El desarrollo sostenible del ser humano en sinergia con la naturaleza

Problema: ¿Qué se desea resolver?

La mejora de la actuación social y sostenible

Propuesta: ¿Qué se propone para resolver?

Implementar avances en la Ingeniería de Procesos Sostenibles.

Técnica: ¿Con qué se pretende resolver?

Generando contribuciones significativas a la ingeniería de procesos de innovación, desarrollo y emprendimiento, para mejorar la actuación social y sostenible en sinergia con el planeta.

Escenario: ¿Dónde se probará la propuesta?

En el bosque amazónico de la región Ucayali

La tesis en Investigación: ¿Qué desafíos tiene esta tesis?

Investigar y definir los cambios de paradigma necesarios para lograr avances en la ingeniería de procesos de innovación, desarrollo y emprendimiento, que fomenten una actuación social y sostenible (Ingeniería de IDEAS Sostenibles) en el Perú.

Justificación ¿Qué justifica abordar la problemática?

Desde la crisis financiera del 2008, con los créditos **suprime**, se levantaron las alertas sobre la estabilidad financiera global (Reinhart & Rogoff, 2010). Sin embargo, el colapso sistémico llegó con la pandemia de COVID-19, durante la cual el mundo ha enfrentado múltiples crisis financieras, económicas, políticas y sociales (OMS, 2020). Estas crisis incluyen el cambio climático, con un aumento de más de 1°C en la temperatura global (IPCC, 2021), el incremento de la deforestación en la Amazonía en un 20% (FAO, 2021), y la proliferación de plásticos y microplásticos en los océanos (ONU Medio Ambiente, 2018). Este contexto sugiere un colapso en los sistemas de gobernanza globales, debido a sus limitadas competencias para gestionar de manera estratégica la sostenibilidad (UNDP, 2021)..

1.4. EL PROBLEMA EN INVESTIGACIÓN

El desafío central de esta investigación es determinar cómo la Ingeniería pueda constituirse en un instrumento clave para concebir, gestar y mejorar procesos de innovación, desarrollo y emprendimiento. Este enfoque busca maximizar la creación de valor y beneficios marginales, optimizar el uso de recursos y minimizar los impactos negativos al planeta.

El propósito es impulsar el desarrollo e implementación de soluciones innovadoras que sean sostenibles, socialmente responsables y sinérgicas. Estas soluciones deben fomentar una interacción armónica entre las personas y la naturaleza, promoviendo un futuro donde el progreso tecnológico esté en sinergia con el planeta y equilibre el bienestar ambiental y social.

1.4.1 PROBLEMA GENERAL

¿Qué efectos de la ingeniería se deben valorar, para mejorar significativamente la actuación y efectividad, de los procesos en ideas sostenibles, en la Amazonía del Perú?

1.4.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Qué es necesario cuantificar y entender de la ingeniería, para planificar innovaciones y desarrollos, que incrementen significativamente la competitividad, de los procesos en ideas sostenibles, tanto a nivel local como global?

¿Qué es necesario cuantificar y entender de la ingeniería, para planificar emprendimientos, que incrementen significativamente la competitividad, de los procesos en ideas sostenibles, tanto a nivel local como global?

¿Qué es necesario cuantificar y entender de la ingeniería, para planificar actuaciones sociales sostenibles, que incrementen significativamente la competitividad, de los procesos en ideas sostenibles, tanto a nivel local como global?

1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

La motivación principal de esta investigación radica en la necesidad de empoderar a los peruanos para que aprovechen de manera sostenible los vastos recursos naturales del país, respondiendo a desafíos globales como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la desigualdad social.

El modelo **IP.IDEAS.S** (Ingeniería para Procesos de Innovación, Desarrollo, Emprendimiento y Actuación Social Sostenible) surge como una respuesta a estas problemáticas, buscando generar impactos positivos al facilitar la creación de valor en sinergia con la naturaleza. Este enfoque permitirá optimizar procesos, productos y servicios, sensibilizando y promoviendo la competitividad y el bienestar colectivo.

FIGURA 11:
LA INGENIERIA DEL PROCESOS PARA INTERCAMBIOS DENTRO DE LA SOCIEDAD Y CON LA NATURALEZA



Fuente: Elaboración propia, adaptado de imágenes google

La investigación busca exponer métodos para concebir, desarrollar y mejorar innovaciones, desarrollos y emprendimientos que puedan ser adoptados a nivel global, alineando esfuerzos para mejorar la competitividad de todos, creando riqueza, bienestar, paz y prosperidad.

Además, esta investigación permitirá explorar, adaptar y validar metodologías aplicables tanto a negocios privados como a temas nacionales de interés social, económico y ambiental. Su impacto será significativo no solo en el sector privado, sino también en el ámbito público y en diversas escalas: nacional, regional y local.

El marco conceptual de **IP.IDEAS.S** integra diversas técnicas y métodos bajo un enfoque unificado, proporcionando un sistema aplicable a la realidad peruana. Esto permitirá generar nuevas aplicaciones en el campo de la ingeniería industrial para concebir, gestar y mejorar procesos de innovación, desarrollo y emprendimiento, con el objetivo de generar cambios con impactos positivos en sectores clave como la minería, metalurgia, agroindustria, entre otros.

1.6. ALCANCE

El alcance de esta investigación no se limita a un sector productivo específico, sino que tiene un enfoque transversal para contribuir a la ingeniería de procesos y abordar el uso y aprovechamiento sostenible del bosque amazónico peruano, que representa aproximadamente el 30% del bosque amazónico mundial y es el origen del río Amazonas.

1.7. OBJETIVOS

El propósito de esta tesis es impulsar una transformación en la ingeniería industrial, integrando nuevas formas de pensar y utilizando herramientas innovadoras que permitan Desarrollar e implementar mejoras de manera considerable la sostenibilidad y sinergia entre la sociedad y el planeta. Este enfoque busca generar un impacto positivo en la relación entre las personas y el entorno, promoviendo soluciones que armonicen el desarrollo humano en sinergia con la naturaleza, y cuyo uso haga del planeta un lugar más vivible y sostenible.

1.7.1. OBJETIVO GENERAL:

Valorar los efectos de la ingeniería, para mejorar significativamente la actuación y efectividad, de los procesos en ideas sostenibles, en la Amazonía del Perú

1.7.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS

Cuantificar y entender los efectos de la ingeniería, para planificar innovaciones y desarrollos, que incrementen significativamente la competitividad, de los procesos en ideas sostenibles, tanto a nivel local como global.

Cuantificar y entender los efectos de la ingeniería, para planificar emprendimientos, que incrementen significativamente la competitividad, de los procesos en ideas sostenibles, tanto a nivel local como global.

Cuantificar y entender los efectos de la ingeniería, para planificar actuaciones sociales sostenibles, que incrementen significativamente la competitividad, de los procesos en ideas sostenibles, tanto a nivel local como global.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 LA SOSTENIBILIDAD

La sostenibilidad es un concepto integral que abarca la interacción entre el desarrollo económico, social y ambiental, con el objetivo de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas. Aunque todos los actores — desde individuos hasta agrupaciones, países, y el planeta en su conjunto— juegan un rol importante, la diferencia está dada por el nivel de impacto que cada uno tiene en la sostenibilidad del planeta y de la sociedad. Los hacedores de políticas (gobiernos) tienen una mayor responsabilidad debido a su capacidad para influir en cambios sistémicos de gran escala. La gobernanza, por tanto, opera en múltiples niveles, desde la persona individual hasta las interacciones entre grupos y naciones, y su éxito depende de la colaboración coordinada en cada uno de estos niveles.

2.1.1. PARADIGMAS DE LA SOSTENIBILIDAD

El presente estudio se centra en los **procesos sostenibles por el planeta y la sociedad**, los cuales requieren **cambios de paradigmas** profundos en la **Gestión Estratégica de los recursos** y las **operaciones empresariales**. Actualmente, los modelos predominantes se basan en la **Economía Lineal**, donde los recursos naturales se extraen, transforman y finalmente se desechan, generando un ciclo de alto desperdicio y degradación ambiental. Para avanzar hacia un futuro sostenible, es necesario transformar estos modelos en **procesos Circulares** (Economía Circular), donde las cadenas de suministro operen como **cadenas de doble vía entre la Sociedad y la Naturaleza**.

Este enfoque implica que los recursos extraídos sean **regenerados o reintegrados** en los sistemas productivos, minimizando la entropía generada por las operaciones humanas.

Un ejemplo claro de esta transición es el uso de la convención que indica que **1 kg de CO₂ capturado = 1 kg de biomasa + 6.5 kWh de energía absorbida** (Figura 2), lo que no solo compensa las emisiones de carbono, sino que también contribuye al enfriamiento del planeta. Esto subraya el concepto de que la **economía circular** permite transformar los **impactos negativos en impactos positivos**.

Evidencia del Cambio Sistémico

La investigación de **Lazarus, E. (2018)** sobre el **GPI (Índice de Progreso Genuino)** demuestra que el actual **Índice de Desarrollo Humano (IDH)**, como se expone en la **FIGURA 8** del informe **UNDP-2023**, no es suficiente para captar las complejidades de un sistema global que enfrenta **colapsos sistémicos** a nivel ambiental y social. Las limitaciones de las ciencias sociales en materia de **gestión y gobernanza** han quedado en evidencia al no poder actuar de manera efectiva para mitigar los efectos negativos de las actividades humanas sobre el planeta.

FIGURA 12:
EL PROCESO DEL PROGRESO DE LA CIENCIA



Fuente Elaboración Propia Adaptado de Kuhn

Cambio de Paradigma y la Ciencia Social en Gestión y Gobernanza

En el marco del pensamiento de **Thomas Kuhn (1962)**, cuando se presentan múltiples anomalías en los paradigmas existentes, surge la necesidad de una **revolución científica** para generar un cambio. Esto es precisamente lo que está ocurriendo en la gestión y gobernanza de los recursos naturales y las actividades humanas. El **fracaso** de las ciencias sociales para gestionar adecuadamente los sistemas humanos en **sinergia con el planeta** ha generado una crisis que solo

puede abordarse con un enfoque interdisciplinario que integre las ciencias naturales y tecnológicas en la **gestión estratégica**.

A lo largo de los últimos siglos, la ciencia social ha evolucionado de manera **disociada** de las ciencias naturales, ignorando los impactos acumulativos de las actividades humanas en los ecosistemas globales. Hoy, sin embargo, los avances de la humanidad son tales que sus acciones tienen un **impacto negativo significativo sobre el planeta**. En lugar de intentar simplemente **reducir los costos** en el corto plazo, es necesario **maximizar los beneficios marginales** en todas las operaciones, comprendiendo que la inversión en procesos sostenibles no es un gasto, sino una herramienta clave para reducir la **entropía** y asegurar un **futuro estable**.

Entropía y Sostenibilidad

El concepto de **entropía** es central en este nuevo paradigma de sostenibilidad. Los sistemas que generan **altos niveles de entropía** (desorden y desperdicio) están condenados a fallar en el largo plazo. Para reducir la entropía, es necesario diseñar **sistemas cíclicos**, donde los **impactos negativos** sobre el planeta se **minimicen** o, mejor aún, se **conviertan en impactos positivos**. Esto implica operar de manera que el **consumo marginal de recursos** tienda a cero, y los recursos naturales, como el aire y el agua, que tienen un precio de mercado cercano a cero, sean valorados por su **capacidad de regeneración** y no solo por su costo monetario.

Maximización de Beneficios Marginales en la Economía Circular

El **paradigma de la sostenibilidad** también redefine el concepto de eficiencia. En lugar de solo enfocarse en **minimizar costos**, el objetivo es **maximizar los beneficios marginales** generados por el uso cíclico y eficiente de los recursos. Este enfoque se aplica tanto a los **recursos naturales** como a los **recursos humanos**, promoviendo un modelo de crecimiento con un ciclo regenerativo donde los beneficios económicos, sociales y ambientales se integran de manera armónica.

2.1.2. MARCO CONCEPTUAL DE LA GESTIÓN SOSTENIBLE

La **gestión sostenible** implica administrar de manera eficiente los recursos disponibles, dosificando su uso para maximizar su valor. Esto se aplica tanto a **recursos naturales** como a **capacidades humanas** y operativas, con el fin de lograr un equilibrio entre el desarrollo económico, social y ambiental en sinergia con el planeta.

1. **Administrar:** Es dosificar el uso de recursos, capacidades, bienes o servicios, que se conocen y están disponibles. La administración eficiente es clave para la sostenibilidad, donde el objetivo no es solo reducir costos, sino también maximizar los beneficios generados por cada unidad de recurso utilizado.
2. **Economía Circular:** A diferencia de los modelos lineales tradicionales, la economía circular promueve ciclos regenerativos donde los recursos son continuamente reutilizados y regenerados. Esto minimiza el **consumo marginal** y maximiza los beneficios generados por el sistema. En este modelo, los **impactos negativos** se convierten en **impactos positivos**, promoviendo una regeneración constante de los recursos.
3. **Beneficio Marginal (Throughput):** Es la ganancia generada por cada unidad de consumo de un proceso o sistema que genera valor. El **throughput** es un indicador clave en la **contabilidad TOC (Theory of Constraints)**, utilizado para medir el rendimiento de salida de todo proceso. El rendimiento operativo se calcula restando del total de ingresos el **consumo marginal**.
4. **Competitividad:** En el contexto de la gestión sostenible, la competitividad se refiere a la **capacidad para generar cambios, mejorar y superarse** continuamente. No se trata solo de superar a los competidores, sino de optimizar los recursos, reducir la entropía y fomentar la **innovación** en sinergia con la naturaleza.
5. **Entropía y Estabilidad:** Reducir la entropía, o desorden, en un sistema es fundamental para la sostenibilidad. Los procesos eficientes que minimizan el uso de recursos y regeneran el capital natural permiten crear **sistemas estables** a largo plazo. Un sistema de baja entropía es más predecible, reduce riesgos y mejora la eficiencia operativa.
6. **Inversión como Generador de Valor:** La inversión en recursos, energía y tiempo no debe ser vista como un costo, sino como una oportunidad para generar **valor sostenible**. Invertir en tecnologías limpias, procesos eficientes y capital humano maximiza los beneficios marginales y asegura un futuro sostenible, donde el consumo marginal de recursos tienda a cero.
7. **Cadenas de Márkov y Simulación de Escenarios:** Las **Cadenas de Márkov**, al igual que la **Tabla Insumo-Producto de Leóntiev**, permiten modelar las interacciones entre los diversos factores de producción y proyectar escenarios de

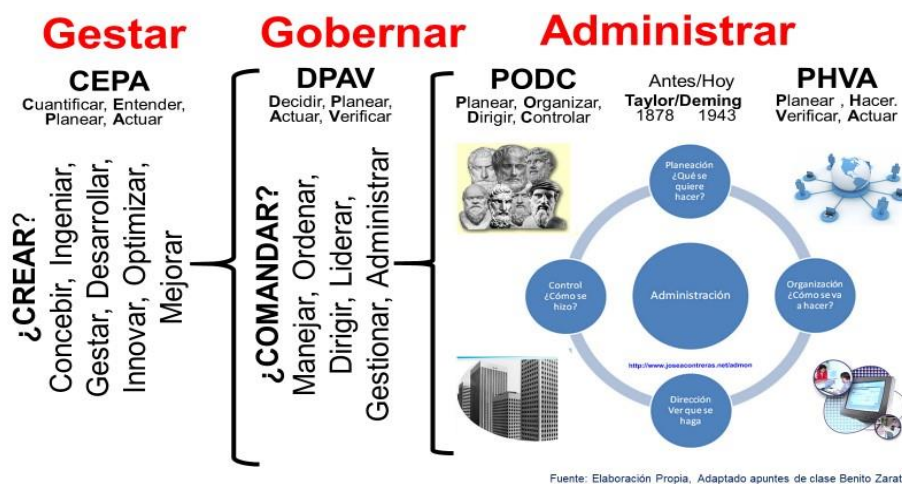
crecimiento y sostenibilidad. Estas herramientas permiten simular el impacto de las decisiones estratégicas y optimizar el uso de los recursos.

8. **Cadena de Suministro de Doble Vía:** En el marco de la **economía circular**, la **cadena de suministro de doble vía** permite que los recursos circulen de manera cíclica entre la **naturaleza** y la **sociedad**. Esto implica que los residuos generados por los procesos industriales sean reutilizados como insumos en otros ciclos productivos, asegurando que el impacto neto sobre el planeta sea positivo.
9. **Competencia:** La **competencia** en este contexto es entendida como la energía que impulsa el empoderamiento y la superación de las propias capacidades. A través de la competencia sana y colaborativa, se fomenta la **innovación** y el **desarrollo sostenible**, lo que lleva a la optimización de los recursos y la creación de valor compartido.
10. **Rendimiento del Beneficio Marginal (RBM):** Es una medida del rendimiento del sistema para convertir el **Consumo Marginal Variable (CMV)** en beneficios. Este indicador es clave para evaluar la productividad del proceso y su capacidad para generar valor con los recursos disponibles.
11. **Rendimiento Operativo del Proceso (ROP):** El ROP se calcula dividiendo los **Beneficios Marginales (BM)** entre el **Consumo Marginal (CM)** del proceso, lo que proporciona una medida clara de la eficiencia con la que los recursos son utilizados para generar beneficios. Este indicador es fundamental para evaluar la **competitividad** de un proceso en términos de sostenibilidad.
12. **Punto de Equilibrio:** Es el indicador que marca el punto donde una operación o proceso puede mantenerse en funcionamiento, es decir, cuando el **throughput** es igual al **consumo operativo**. Este punto es crítico para determinar la viabilidad y la sostenibilidad de un proceso.
13. **Innovación:** La **innovación** es el proceso de hacer comercial una nueva idea, lo cual es esencial en la gestión sostenible. Innovar significa implementar soluciones que optimicen los recursos, minimicen los impactos negativos y maximicen el valor generado por los procesos.
14. **Negocios como Vía de Intercambio de Beneficios:** En la **gestión sostenible**, los negocios deben ser vistos como una vía de intercambio recíproco de beneficios entre la sociedad y la naturaleza. Esto se logra a través de **modelos de negocio sostenibles** que respeten los límites del planeta y optimicen el uso de los recursos.

2.2 LOS CICLOS OPERATIVOS EN LOS PROCESOS

En la gestión, el gobierno y la administración, es esencial distinguir entre estos conceptos operativos, tal como expone Lu-Chang-Say (2022) en la Figura 13. Aquí se presentan cuatro ciclos operativos que resaltan las diferencias conceptuales y aplicativas de cada uno. Conceptualmente, "administrar", según la RAE, implica dosificar el uso de algo que ya se conoce o está definido. En cambio, "gestionar", que deriva de "gestar", sugiere hacer nacer o acompañar hasta que algo nuevo se materialice, ya que todavía no existe.

FIGURA 13:
LOS CICLOS OPERATIVOS PARA GESTAR, GOBERNAR Y ADMINISTRAR



Adaptado de Zarate

El ciclo PODC (Planear, Organizar, Dirigir y Controlar) propuesto por Taylor en 1878, considerado el padre de la administración moderna, es el más adecuado para administrar procesos que involucren máquinas, sistemas automáticos y de inteligencia artificial. En estos casos, la intervención humana no es determinante para los resultados, ya que el proceso está estructurado y automatizado.

El ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar y Actuar (FIGURA 13), propuesto por Deming en 1982, es fundamental para gestionar la calidad, particularmente cuando se administran las capacidades humanas (capital humano). Este ciclo es esencial para empoderar a las personas y ayudarlas a alcanzar su máximo potencial en la consecución de los resultados deseados, promoviendo una mejora continua en la conversión de insumos a productos a través de los procesos.

El ciclo CEPA (Cuantificar, Entender, Planear y Actuar) Expuesto por Lu-Chang-Say en 2022, se enfoca en la concepción, gestión y mejora de procesos relacionados con el cambio, el desarrollo y la innovación. Este ciclo comienza con la Cuantificar y definición de una situación problemática, sigue con Entender y comprender las hipótesis que podrían resolverla y culmina con la Planificar las Acciones o experimento, repitiendo el ciclo según sea necesario. Este ciclo es clave para ingenieros, investigadores y gestores que buscan materializar nuevas ideas y mejoras en los procesos.

El ciclo DPAV (Decide, Planea, Actuar y Verificar), también propuesto por Lu-Chang-Say en 2022, es adecuado para situaciones en las que se requiere gobernar, comandar o liderar en contextos dinámicos con incertidumbre y riesgos involucrados. Este ciclo es vital cuando se necesitan respuestas rápidas y decisivas que influyan directamente en los resultados del proceso.

2.3 MODELO ESTRATÉGICO DE NEGOCIO SOSTENIBLE - MENS

FIGURA 14:

CANVAS DE LOS MODELO ESTRATÉGICOS DE INTERCAMBIO SOSTENIBLES

Adaptado de Osterwalder & Pigneur(2010)



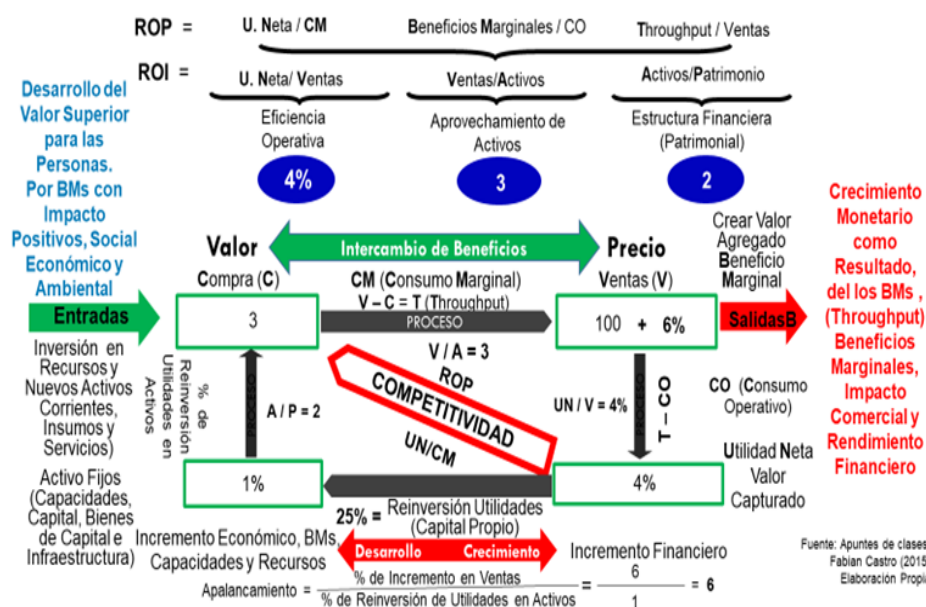
FIGURA 14 desarrollando por Lu Chang-Say (2022) en su tesis de maestría y publicando en IEOM 2023, en el aplican la metodología de Osterwalder y Pigneur; en su obra "Model Generation: A handbook for visionaries, game changers and challengers", para definir los factores claves y estratégicos que componen, un modelo de intercambio de valor y beneficios (negocio), entre los diversos actores beneficiados, grupos de interés y sectores relacionados de un contexto.

2.4 EL CICLO DE CREACIÓN DE BENEFICIOS MARGINALES EN LAS EMPRESAS Y SU IMPACTO EN LA SOCIEDAD

2.4.1. MAXIMIZACIÓN DE LOS BENEFICIOS MARGINALES O THROUGHPUT

Beneficios Marginales (BM) o Throughput (T) de los Procesos. Es un indicador adaptado de **TOC (Theory Of Constriction)**, propuesto por Goldratt el 2008. Que ha sido Fundamental para cuantificar los procesos. Esto cuatro conceptos, también aplicables a la dinámica de sistemas de Forrester (1995). Adaptados por Lu-Chang-Say (2023), como indicadores de competitividad de un proceso (FIGURA 15). Su propuesta se aparta de los conceptos tradicionales y no tiene las limitaciones de los sistemas tradicionales, basado en costos, porque el incremento de valor, basado en mejorar el flujo y la velocidad con que los sistemas pueden generar y entregar valor, no tiene límites.

FIGURA 15:
LA COMPETITIVIDAD Y EL CICLO DE CREACIÓN DE VALOR Y BENEFICIOS



La **Figura 15**, adaptada por **Lu-Chang-Say (2023)**, presenta el **ciclo de creación de valor y maximización de los beneficios marginales (Throughput)** en un proceso empresarial. Este modelo, basado en la **Teoría de Restricciones (TOC)** de Goldratt (2008), ilustra cómo los procesos dentro de una organización generan valor tanto para la empresa como para la sociedad. El ciclo enfatiza la importancia de optimizar el **Throughput**, que es el flujo de valor que se genera a medida que

los sistemas mejoran su eficiencia operativa y la velocidad con la que entregan ese valor.

La figura incorpora indicadores clave como el **ROI (Return on Investment)**, que mide el retorno financiero sobre las inversiones realizadas en los procesos, y el **ROP (Return on Process)**, que evalúa el rendimiento operativo en términos de creación de valor. Estos indicadores están estrechamente relacionados con la **competitividad** de la organización, que impulsa tanto el rendimiento económico como el impacto en la sociedad.

En resumen, la figura muestra cómo el **Throughput**, el **ROI** y el **ROP** interactúan en un ciclo de reinversión y crecimiento continuo, mejorando la eficiencia y aumentando los beneficios para todos los actores involucrados, incluidos la empresa y la sociedad.

2.4.2. Indicador de Rendimiento Operativo de los Procesos

FIGURA 16:

RENDIMIENTO OPERATIVO DE LOS PROCESOS

¿Valor = Consumo = Cantidad = Beneficio?

$$\begin{aligned}
 \text{ROP} \left\{ \begin{aligned}
 \text{RM} &= \frac{T}{\text{CTV}} = \frac{\text{Ventas} - \text{CTV}}{\text{Consumo Totalmente Variable}} = \frac{\text{BM}}{\text{CM}} = \frac{\text{Beneficio Marginal}}{\text{Consumo Marginal}} \\
 \text{RO} &= \frac{T}{\text{CO}} = \frac{\text{BM}}{\text{CO}} = \frac{\text{Throughput}}{\text{Consumo Operativo}} \\
 \text{ROP} &= \frac{\text{BM}}{\text{CM}} = \frac{T - \text{CO}}{\text{CO}} = \frac{\text{BN}}{\text{CO}} = \frac{\text{Beneficios Neto}}{\text{Consumo Operativo}} \\
 \text{RV} &= \frac{T}{V} = \frac{\text{BM}}{V} = \frac{\text{Ventas} - \text{CM}}{\text{Ventas}} = \text{Margen}
 \end{aligned} \right.
 \end{aligned}$$

C. D. Industrial; Julio Lu Chang-Say jluchang@hotmail.com

Bajo el Título DNA Lean Philosophy and TOC for Develop, Innovate and Improve Processes)” se publicó artículo en LACCEI 2018, donde se explica y desarrolla el indicado ROP (Anexo 3)

Inversión (I); En economía son todos los recursos que adquiere, utiliza y/o Compran (C), y se tienen en Inventario (Inv) con la intención de agréga les valor, transformar, para distribuirlos y/o Venta (V). En el caso público son los recursos naturales, el tiempo, personas, pasivos sociales y ambientales, el costo de oportunidad social e impacto ambiental, es decir, todos los insumos y/o recursos a consumir de entrada. En ese sentido para Goldratt E. en TOC no existe el agregar valor al producto. El objetivo es agregar valor a todo los que impacta el sistema y se agrega cuando se

recibe los beneficios o el dinero del producto vendido, no antes. Concepto que difiere drásticamente del indicador contable tradicional de activos en lo referente a trabajo en proceso y el inventario de producto terminado.

En ese sentido **I** (Inversión) indica la cantidad imprescindible a utilizar de valor, recursos, energía y/o tiempo para lograr una meta o resultado específico, que tiene por objeto generar una transformación, cambio y/o beneficio, ejemplo:

- Los insumos de un proceso, para un provecho
- La energía y recursos para operar un sistema
- Los servicios y recursos para implementar un proyecto, etc

$$\text{CM} = \text{Recursos Consumidos} + \text{C (Compras)} + \text{Inv (Inventario)}$$

Consumo Marginal (CM). Indica la cantidad utilizada de recursos, energía, tiempo y/o valor, para obtener una unidad meta adicional de provecho, bien, producto y/o servicio. Conceptualmente sería una **Inversión Marginal**, porque los recursos a consumir son imprescindibles. A su vez el **CM** se divide en **CMV** (Consumo Marginal Variable) y **COM** (Consumo Operativo Marginal).

$$\text{CM} = \text{CMV} + \text{COM}$$

Consumo Marginal Variable (CMV). Comúnmente se llama costo variable, sin embargo, se precisa que sean **Consumos Totalmente Variables (CTV)**, que indica la cantidad utilizada de valor, recursos, energía y/o tiempo, para obtener una unidad adicional de provecho y/o servicio meta. Si la variación de consumo es directamente proporcional a la variación del volumen de producción, entonces es un **CMV** (Consumo Marginal Variable) o **CTV**, son todos los recursos que se invierte, para generar o vender una unidad adicional de **BB** (Beneficio Bruto), **PBI** (Producto Bruto Interno) o **V** (Venta).

En ese sentido si a **Beneficio Bruto (BB)**, se resta del **Consumo Marginal Variable (CMV)**, se obtiene el **Beneficio Marginal (BM)** o **Throughput (T)** aplicando el concepto de Goldratt E de contabilidad TOC. Es decir el rendimiento o valor resultante generado por el sistema que crea los beneficios, se calcula mediante la siguiente formula:

$$\text{BM} = \text{V} - \text{CMV} = \text{PBI} - \text{CM}$$

Consumo Operativo Marginal (COM). Es todo el valor que el sistema gasta durante el proceso, convirtiendo el inventario (pasivo, consumo totalmente variable) en **BM** o **T**, caso público es el gasto y la inversión pública. Es todo el dinero que se tiene

disponible para crear el valor agregado poniendo en marcha todo el sistema y las máquinas. Este concepto es utilizado en contabilidad **TOC** de Goldratt E., se le llama costo fijo de operación o proceso, o la cantidad utilizada de valor, recursos, energía y tiempo para el funcionamiento o marcha de una operación Conceptualmente se define como la Inversión para que opere un sistema, un desagregado del **CM** (**Consumo Marginal**). Lo que realmente importa es si son o no son completamente variables. El **COM** son completamente no variables, se debería analizar caso por caso, y su impacto en lo fundamental del sistema que crea el valor y los beneficios. Evaluando estos tres indicadores son suficientes para tomar decisiones sobre el **BM** y el **BN** (**Beneficios Neto**).

$$\mathbf{BN = BM - CO = V - CV - CO}$$

Beneficio Marginal (BM). Es el rendimiento o Throughput (**T**) de la contabilidad **TOC** de Goldratt E., para un proceso u operación. Es el **BM** (**Beneficio Marginal**), ganado con el **CMV** (**Consumo Margina Variable**) de recurso y tiempo, que un sistema entrega, por unidades meta. Simplemente son los Beneficios Ganados o Rendimiento, utilizar el concepto clásico de **Benéfico Marginal**. Ejemplo en un negocio o empresa el valor generado, resultado de sus ventas, es el **BM** (**Beneficio Marginal**) o valor ganado o creado por el sistema, se calcula, restando el **CM** (**Consumo Marginal**) de la **V** (**Venta**) de la empresa.

$$\mathbf{BM = V - CMV = PBI - CMV}$$

En un país, el **PBI** (**Producto Bruto Interno**) menos el **CM** (**Consumo Marginal**) de los Recursos utilizados. Cabe señalar que el **BM** o **T** (**Throughput**), es el único indicador, identificado directamente con el producto y/o provecho saliente.

$$\mathbf{BM = PBI - CM = Ventas - CMV}$$

Beneficios Marginal Neto (BMN). Indicador de los Utilidad o ganancias neta de toda operación o proceso. Se calcula restando de **BM** (**Beneficio Marginal**) el **COM** (**Consumo Operativo Marginal**).

$$\mathbf{BN = BM - COM}$$

Índice de Beneficio Marginal (IBM)

Es la medida del Rendimiento o **Productividad** del sistema, para convertir el **CMV** (Recursos, Bienes o Servicios) en beneficios, se calcula tal con la fórmula:

$$\mathbf{IBM = BM/CMV}$$

$$\text{Donde: } \mathbf{BM = Ventas - CMV = PBI - CMV}$$

Rendimiento Operativo del Proceso (ROP). Es la medida del Rendimiento Operativo o Capacidad (**Competitividad**) del sistema, para convertir **CM** (Recursos, Bienes o Servicios) en beneficios, se calcula con la fórmula:

$$\text{ROP} = \text{BMN}/\text{CMV}$$

Donde: **BMN = BM-CMV=Ventas – CM = PBI - CM y CM=CMV+COM**

Con este indicador toda decisión que impacte positivamente según Goldratt E., aplicando contabilidad, el sistema conduce hacia su meta y en la medida de los resultados. En ese sentido para el análisis de cualquier acción, se debe tener en cuenta que los tres indicadores y no uno solo, de otro modo puede resultar devastadores, las conclusiones se deben basar en la relación entre **BM, CM y ROP**.

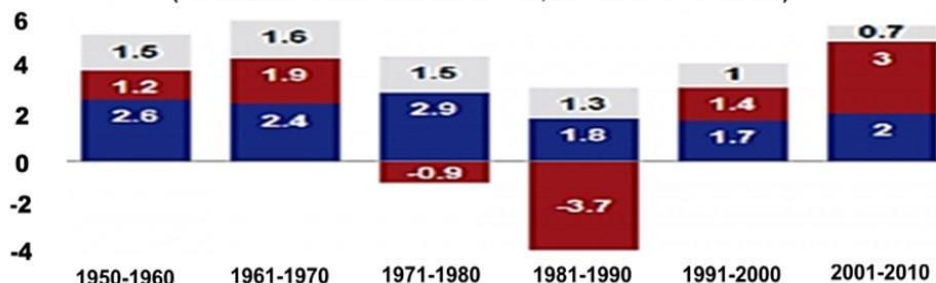
2.5 PRODUCTIVIDAD TOTAL DE LOS FACTORES

- La Productividad Total de Factores – PTF, se define como la relación de las contribuciones combinadas de los insumos utilizados, entre el volumen de producción (FIGURA 17).
- La PTF emplea como marco conceptual y metodológico el modelo **KLEMS**. Este marco considera la relación entre la producción y la contribución de los insumos utilizados “Capital (**K**), Trabajo (**L**), Energía (**E**), Materias primas (**M**) y Servicios (**S**)” = “**P**laneta, **P**ersonas, **P**rocesos y **P**rovecho” = Producción (**Y**)
- Además, se ha demostrado que existe una correlación entre la **PTF** y la eficiencia de conversión de la energía -según Romer & David (2002), igualmente Cejudo (2006).

FIGURA 17:

PRODUCTIVIDAD TOTAL DE FACTORES – PTF

Contabilidad del Crecimiento por Décadas, 1950 - 2010
(Contribución al Crecimiento del PBI, en Punto Porcentuales)



Extraído del informe de CEPAL, “Productividad total de factores: Revisión metodológica y una aplicación al sector manufacturero uruguayo”.

Fuente: MEF
Elaboración: IPE

Aumento en Capital
Aumento en Productividad Total de Factores
Aumento en Trabajo

Forma Cuasi lineal de la función de producción

Consideremos la producción total (**Y**) como una función de los factores capital (**K**) y trabajo (**L**), por lo que podemos escribir, en forma cuasi lineal:(FORMULA 1)

FORMULA 1

$$Y = f(K, L) = \kappa(K, L)K + \lambda(K, L)L$$

Función de producción de Cobb-Douglas

Frecuentemente se presupone que la función de producción puede representarse de manera empíricamente adecuada, como una función de producción Cobb-Douglas con rendimientos constantes de escala Romer y David (2002).

FORMULA 2

$$: Y = AK^{\alpha}L^{1-\alpha}$$

Donde:

Producción en una economía

Son las cantidades total de capital y trabajo usados en una economía.

Es la proporción de capital usada en el trabajo.

Es una función del resto de factores productivos como la tecnología, la calidad de la mano de obra, etc.

Si bien, las Fórmulas 1 y 2 no se observa la variable tiempo, se hace evidente que el tiempo es una variable de la **función lineal de producción Cuasi Lineal y Cobb-Douglas**, por tanto, aplicando los principios físicos-matemáticos de la naturaleza, se puede calcular la primera y segunda derivada de ambas funciones respecto del tiempo (FORMULA 3). En ese sentido, en la FIGURA 17, se observa gráficamente los valores cuantitativos de las variaciones, y su contribución a los factores de producción, por unidades de tiempo (nivel de productividad respecto del tiempo), a lo largo de un periodo de 10 años.

FORMULA 3

$$dY/dt=f(Y)/t=f(K,L)/t=(AK^{\alpha}L^{1-\alpha})/t$$

$$ddY/ddt=df(Y)/tdt=df(K,L)/tdt=d(AK^{\alpha}L^{1-\alpha})/ddt$$

**Representa la Productividad Total de los Factores del
PTF por unidad de tiempo**

La primera derivada de la producción respecto del tiempo Se interpreta como el nivel de contribución total de los factores por unidad de tiempo y/o la producción por unidad de tiempo unidades (**velocidad de producción**). Es un indicador cuantitativo del nivel de producción y/o **productividad** alcanzada por unidad de tiempo.

La segunda derivada de la producción respecto del tiempo. Se entiende como el índice de incremento de la velocidad de producción por unidad de tiempo (**aceleración de la producción**). Ese índice de incremento de velocidad por unidad de tiempo, es un indicador cuantitativo de la **capacidad o poder** para variar la velocidad de producción (**competitividad**) hasta alcanzar determinado rendimiento de producción y/o nivel de productividad por unidad de tiempo.

Al incorporar el aspecto dinámico, a la función de producción, se interpreta y entiende perfectamente que la **productividad** es indicadora de rendimiento alcanzado, por unidad de tiempo (velocidad de producción), mientras que la **Competitividad** es indicadora de la capacidad para incrementar los rendimientos de producción y/o transformaciones, que permitan mejorar, incrementar y/o superar el nivel alcanzado, en los rendimientos de producción y transformación

FORMULA 4

$$\begin{aligned} dA/dt &= f(Y)/t = f(A, K, L)/t = Af(K^a L^{1-a})/t \\ ddA/ddt &= f(Y)/tdt = Af(K, L)/tdt = dA(K^a L^{1-a})/ddt \end{aligned}$$

Representa la Productividad del

Factor A (Resto de factores) por unidad de tiempo

La primera derivada parcial de (A) respecto del tiempo. Es la contribución del resto de factores por unidad de tiempo, basada en los conceptos físico-matemáticos, es la velocidad de la contribución al crecimiento de la producción.

La segunda derivada parcial de (A) respecto del tiempo. Es el incremento de la contribución por unidad de tiempo del resto de factores, basada en los conceptos físico-matemáticos, es la aceleración o el incremento de la velocidad de la contribución de resto de factores productivos.

El resto de factores productivo son los distintos al capital y trabajo, son tales como las tecnologías e innovación, para desarrollar y mejorar la utilización de las capacidades disponibles.

2.6 ECONOMÍA CIRCULAR

FIGURA 18:
DINAMICA DEL SISTEMA AMBIENTAL
Adaptado de (Forrester,)



Según Moraga et al, la EC (Economía Circular) es un enfoque para promover la responsabilidad y el uso cíclico de los recursos (FIGURA 18). En los últimos años, la CE ha sido respaldada como una política para minimizar las cargas ambientales y estimular la economía.

También Saidani et al, la CE podría definirse como "un sistema económico que reemplaza el concepto de 'fin de vida' mediante la reducción, reutilización, reciclaje y recuperación de materiales en los procesos de producción/distribución y consumo. La CE opera en tres niveles :

- **Micro (productos, empresas, consumidores),**
- **Meso (parques ecoindustriales) y**
- **Macro (ciudad, región, nación y más)**

Con el objetivo de lograr el desarrollo sostenible, creando simultáneamente calidad ambiental, prosperidad económica y equidad social, en beneficio de las generaciones presentes y futuras". Además, según el EMF, la CE se basa en tres principios compartidos, que se pueden resumir de la siguiente manera:

1. **DISEÑAR RESIDUOS Y CONTAMINACIÓN,**
2. **MANTENER LOS PRODUCTOS Y MATERIALES EN USO, Y**
3. **REGENERAR LOS SISTEMAS NATURALES.**

TABLA 1: INDICADOR LEAN Y VERDE EN EL MAPEO DEL FLUJO DE VALOR

OBJETIVOS	INCREMENTAR RENDIMIENTOS	ELIMINAR DESPILFARROS
ENFOCAR	Enfoque centrado en las restricciones (hasta que la restricción deje de existir) ¿La restricción determina el rendimiento?	Enfoque en eliminación de drenajes ¿Eliminar Despilfarros, Residuos y Emisiones del proceso, con impactos negativos al planeta?
RESULTADO	Incrementar la capacidad de fabricación ¿Incrementar beneficios marginales?	Reducir el consumo de recursos del sistema ¿Minimizar Consumo Marginal de recursos?
INVENTARIO	Mantener inventario suficiente para maximizar el rendimiento en la restricción. ¿Se necesita inventario sólo en la restricción?	Eliminación virtual de todos los drenajes (despilfarros, residuos y emisiones) con impacto negativos. ¿El inventario es un desperdicio?
BALANCEAR FLUJO DE LÍNEA	Crear desequilibrio para maximizar el rendimiento en la restricción ¿Equilibrar el flujo en la línea para maximizar el rendimiento?	Crear equilibrio para eliminar drenajes (exceso de capacidad) ¿Equilibrar el flujo para minimizar despilfarros, residuos y emisiones?
CADENCIA	La restricción impone el ritmo o cadencia (Drum-Buffer-Rope) ¿La necesidad y exigencias, dictan el ritmo del esfuerzo?	La demanda determina el ritmo y la cadencia (el tiempo de la tarea) ¿El propósito determina la Misión?

Nota. Adaptado de Vorne LEAN Production Consulting (<https://www.vorne.com/>)

El objeto de estudio se sitúa dentro de este ciclo de actividades. Para identificar los indicadores adecuados y compatibles con el proyecto, vemos que Moraga et al afirma en su clasificación de Indicadores de desarrollo de medidas CE de la Comisión Europea, que la actividad del proyecto cae en lo que la clasificación muestra como Indicadores de Reciclaje/Recuperación para flujos de residuos específicos y como Subindicador encontramos precisamente uno relacionado con el Reciclaje de Biomasa, para el cual se sugieren los elementos estrategia MATERIALES y estrategia REFERENCIA, es decir, la preservación de materiales y el acortamiento de ciclos (reutilización). así como la medición de la economía lineal como escenario de referencia (Moraga et al. 2019), para lo cual es necesario establecer los indicadores en el ALCANCE 1, es decir, indicadores para medir las propiedades físicas de los ciclos tecnológicos, por ejemplo el Indicador RRR de reutilización, reciclabilidad y recuperabilidad. Para este Alcance 1 debemos utilizar indicadores relacionados con:

Longevidad: Ciclo de vida útil

NTUM: Número de Veces de Uso de un Material

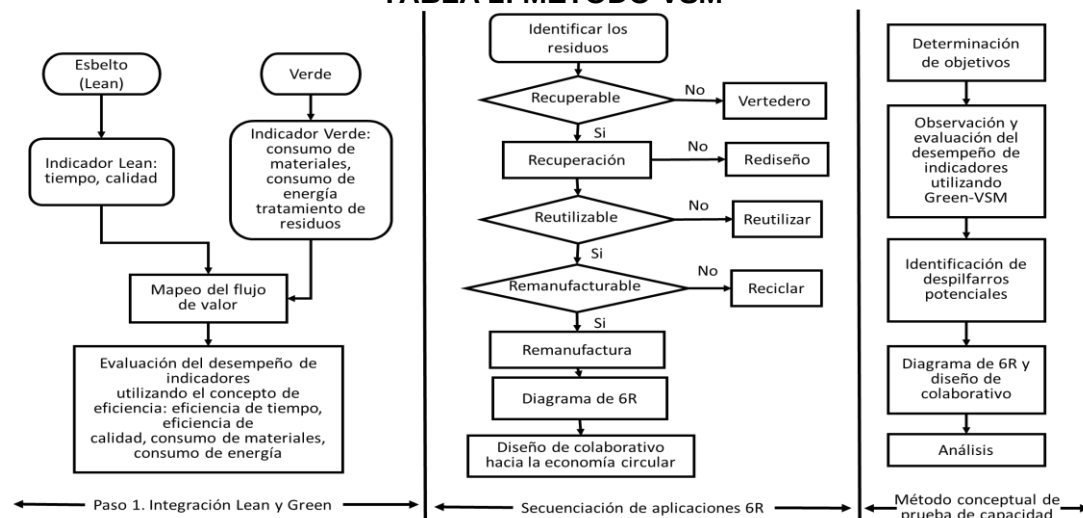
CIRC: Indicador circulatorio de material

LMA: vida útil del material en la antroposfera

MCI: Indicador circulatorio material

NOTA, adaptado de Moraga et al “Indicadores CE: ¿Qué miden?” 2019.

TABLA 2: METODO VSM



Nota. Adaptado de Hartini et al "Integración lean Manufacturing y 6R para reducir el desperdicio de madera en empresa de muebles hacia la economía circular"

Según Hartini et al, el cambio de un modelo económico lineal a un CE es beneficioso para las empresas: debido a una mayor rentabilidad, una mayor ventaja competitiva y una reducción de los impactos ambientales (reducción de residuos -Lean Manufacturing- e impactos negativos en el comunidad.

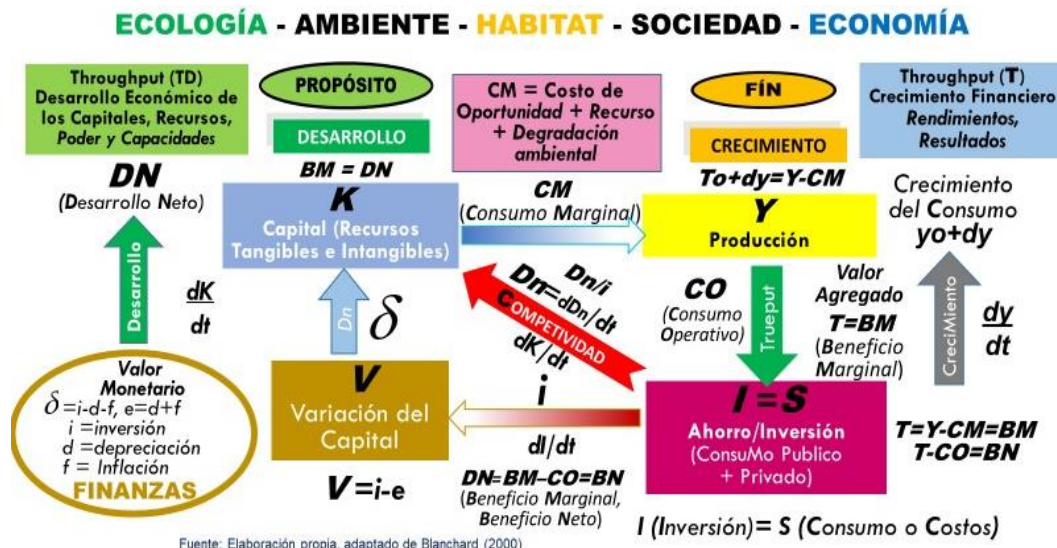
Aunque la definición de EC aún no ha llegado a un punto definitivo, en general muchos la asocian con una combinación de reducir, reutilizar y reciclar (3R). Pero además, la EC se considera un concepto muy fuerte, porque se basa en reducir el uso de recursos, a través de esfuerzos para aumentar la eficiencia en el uso de estos a través de la reutilización, reducción, reciclaje, rediseño y refabricación. A esas "5 R" de estas hay que sumar otras "5 R" porque todos somos socialmente responsables de reincorporar y reforzar la regeneración y recuperación de la Naturaleza, persiguiendo la generación de impactos positivos y beneficios marginales, y minimizando los DRENAJES (Despilfarros, Residuos y Emisiones) con impactos negativos para todos los habitantes del planeta.

Sin embargo, desde una perspectiva basada en la teoría general de sistemas, en la FIGURA 18, vemos que la Economía es Circular, aplicando el modelo de Dinámica de Sistemas de Forester, muestra el Beneficio de las interacciones de los Procesos, efectos e impactos naturales, sociales y económicos de Actividades de las personas, en el Planeta.

Según Hartini et al, la descripción del método de uso del marco Sus VSM se puede ver en la TABLA 2, en el diagrama, el paso 1 tiene como objetivo evaluar el desempeño del proceso de producción con el marco VSM midiendo el tiempo. eficiencia. calidad, energía, consumo de materiales y tratamiento de residuos.

2.7 EL CICLO PARA EL DESARROLLO ECONÓMICO, EN LA CREACIÓN DEL CAPITAL HUMANO, NATURAL Y MATERIAL

FIGURA 19:
CICLO DE LA INVERSIÓN, PARA LA CREACIÓN DE VALOR Y DESARROLLO DE LOS CAPITALES, EN LA ECONOMÍA



La **Figura 19**, adaptada de **Lu-Chang-Say (2003)**, expone el proceso cíclico de inversión enfocado en el **desarrollo económico sostenible** a través de la creación y fortalecimiento de los capitales **humano, natural y material**. Este ciclo es fundamental para entender cómo las inversiones estratégicas no solo impulsan el crecimiento económico, sino que también contribuyen a un **desarrollo equilibrado** que integra aspectos sociales, ambientales y económicos.

2.7.1 El Ciclo de Inversión

El ciclo de inversión representa el flujo constante de recursos financieros, naturales y humanos que, cuando se gestionan adecuadamente, en el desarrollo de capacidades para generar valor económico y bienestar social. Este modelo sugiere que las decisiones estratégicas de inversión deben orientarse hacia la creación de **capital humano** más capacitado, **capital natural** más regenerado y un **capital material** es decir infraestructura y tecnología necesarias para impulsar el desarrollo sostenible.

Cada etapa del ciclo – desde la inversión inicial hasta la **creación de valor** y la **recuperación de beneficios** – es crucial para el crecimiento económico. Sin embargo, a diferencia de los modelos tradicionales, este ciclo incluye explícitamente

los impactos en el capital natural, subrayando la importancia, seguir un ciclo y proceso de desarrollo y acumulación de recursos y capacidades, que no agoten los recursos del planeta.

2.7.2 Crecimiento vs. Desarrollo

La figura hace una distinción entre **crecimiento económico** y **desarrollo**. Mientras que el crecimiento se mide en términos del **Producto Bruto Interno (PBI)**, que refleja un incremento en la producción y el consumo, el desarrollo es más complejo e incluye elementos de **sostenibilidad** y **bienestar integral**. En este ciclo, el crecimiento económico no necesariamente implica desarrollo si no se consideran los impactos negativos, como la degradación ambiental o los costos sociales.

El modelo revela que el PBI, aunque útil para medir el crecimiento, no refleja los **pasivos ambientales** ni el **costo de oportunidad** asociado con el consumo de recursos naturales. Estos pasivos, que incluyen la pérdida de biodiversidad o el agotamiento de recursos, son invisibles en el cálculo del PBI, pero representan una deuda que las futuras generaciones tendrán que enfrentar.

2.7.3 Competitividad y Productividad Marginal

Otro aspecto destacado en la figura es el papel de la **competitividad** en la maximización de los **beneficios marginales** o **throughput**. La competitividad, entendida como la capacidad de utilizar los recursos de manera más eficiente y productiva, es clave para asegurar que las inversiones generen valor tanto para las empresas como para la sociedad. Sin embargo, este proceso debe tener en cuenta el **consumo marginal del planeta**, es decir, los efectos ambientales de estas actividades económicas, que generalmente no son contabilizados en el PBI.

2.7.4 Sostenibilidad y Gestión Estratégica

El **desarrollo económico sostenible** requiere una **gestión estratégica** que integre la regeneración de los recursos naturales con el fortalecimiento del capital humano y material. Esta gestión implica que cada inversión no solo busque maximizar el valor financiero, sino que también considere sus efectos en el medio ambiente y la calidad de vida de las personas.

En resumen, la **Figura 19** presenta una visión integral de la economía donde las inversiones estratégicas no solo impulsan el crecimiento económico, sino que promueven un desarrollo sostenible, asegurando que el uso de los recursos naturales

sea eficiente y equitativo, y que los beneficios generados impacten positivamente tanto a la sociedad como al planeta.

2.8 EVALUACIÓN EXERGÉTICA Y PROYECTIVA DE LOS PROCESOS

Según la RAE, la exergía es la máxima energía que un sistema puede transformar en trabajo útil (Real Academia Española). El término proviene del alemán Exergie, que deriva del prefijo ex- y Energie (energía).

En el análisis de los procesos, se utilizan los siguientes indicadores clave: inversión en Consumo Marginal (CM), compuesto por Consumo Variable (CV) y Consumo Operativo (CO), throughput (T) y utilidad neta (UN) (Goldratt, 2004)..

2.8.1. Unidades:

- **Masa o Biomasa:** Representa la cantidad de recurso natural o material obtenido. En el caso de la biomasa, incluye toda materia viva y mezcla orgánica con contenido de agua. Su valor se mide en unidades de masa (kg, ton, lb, etc.) y depende de factores de mercado.
- **Huella de Carbono (CO₂):** Toda actividad consume biomasa y energía, generando una huella de carbono. Esta huella se mide en unidades de masa equivalentes de CO₂ (kg, ton). La conversión establecida es: 1 kg de biomasa = 1 kg de CO₂ = 4,13 kW (*Figura 2*).
- **Valor Monetario (US\$ o S/.):** Cada recurso, producto o servicio tiene un valor de intercambio basado en la oferta y demanda del mercado.

El análisis proyectiva utiliza las conversiones mostradas en la **Figura 2**, que representan el ciclo de la huella de carbono para determinar el rendimiento (throughput, T) generado por el proceso. El beneficio marginal (BM) se calcula como la diferencia entre las ventas (V) y el consumo marginal (CM), aplicando el concepto clásico de beneficio marginal (Goldratt, 2004).

2.8.2. Evaluación Exegética

En este análisis, no se manipulan las variables independientes, sino que se evalúan los efectos de la mejora de la competitividad de los procesos en ideas sostenibles (Saiz-Segarra, 2005). Se emplean diversas metodologías para optimizar los beneficios marginales (BM) o el throughput (T) en personas, procesos y resultados, todo en armonía con el planeta.

El **ROP** (Rendimiento Operativo del Proceso) es un indicador clave que permite evaluar y comparar el rendimiento de un proceso, midiendo su capacidad para convertir el Consumo Marginal (CM) en Beneficio Marginal (BM). Este indicador refleja la eficiencia en el uso de recursos, como materia y energía, para generar valor, al tiempo que optimiza el throughput (T) y minimiza el impacto ambiental, especialmente en términos de huella de carbono.

El ROP es fundamental para comparar procesos, ya que ofrece una métrica uniforme para medir cómo se transforman los recursos en beneficios. Esto permite identificar los procesos más sostenibles y eficientes. Integrar el ROP en el análisis exergético facilita ajustes que mejoran tanto la competitividad del proceso como su sostenibilidad, maximizando los beneficios por unidad de recurso consumido.

2.8.3. La Competitividad de los Procesos de IDEAS Sostenibles

Saiz-Segarra (2005) destaca que la clave para mejorar la competitividad es fomentar la generación de nuevas ideas en los procesos de innovación tecnológica. Sala-i-Martin (2009), en *The Global Competitiveness Index 2009–2010* del WEF, plantea los tres pilares de la competitividad, mientras que Krugman (1996) define la competitividad a nivel de países como productividad. Porter (1980), en su libro sobre competitividad entre empresas, enfatiza su dependencia del ciclo de vida de la industria y los factores clave. En 1990, Porter amplía su análisis sobre la ventaja competitiva de las naciones. Amartya Sen (1973) argumenta que el desarrollo del capital humano es esencial para la igualdad económica y las libertades humanas.

2.8.4. Casos de aplicación de análisis exergético:

A pesar de la importancia clave del análisis exergético para la evaluación de la sostenibilidad, su aplicación no es muy común. Sin embargo, existen algunos ejemplos notables que demuestran su relevancia en diversos campos. Entre ellos se destacan:

Silva et al (2024): Exergetic analysis and optimization of process variables in xylitol production: Maximizing efficiency and sustainability in biotechnological processes,
Pérez-Lobaina et al (2023, Diagnóstico de la Capacidad de Gestión Energética de la Empresa Acinox Comercial. La Habana, Cuba
Prado-Díaz et al (2023). Diagnosis of the Capacity of Energy Management of the Company,

Kumar et al (2023). Energy, exergy, sustainability and environmental emission analysis of coal-fired thermal power plant.

Rodríguez, et al (2023). A new method for the measurement of robustness in reverse logistics supply chains based on entropy and nodal importance,

Soltanian et al (2022). Exergetic sustainability analysis of municipal solid waste treatment systems: A systematic critical review,

Kuo T., et al (2021). Industry 4.0 enabling manufacturing competitiveness: Delivery performance improvement based on theory of constraints,

Liu J. et al, (2021). Evaluating the urban metabolism sustainability of municipal solid waste management system: An extended exergy accounting and indexing perspective,

Rispoli et al (2021) Green fuel production by coupling plastic waste oxy-combustion and PtG technologies: Economic, energy, exergy and CO₂-cycle analysis,

Jawad et al (2018).sobre Improving supply chain sustainability using exergy analysis-

Mahmud-Parvez et al (2018). Bio-DME production based on conventional and CO₂-enhanced gasification of biomass: A comparative study on exergy and environmental impacts,

Mehdi et al (2018). Model development and energy and exergy analysis of the biomass gasification process (Based on the various biomass sources),

Jawad et al (2016). Deriving an exegetic economic production quantity model for better sustainability,

Bilgen al (2015). Exergy for environment, ecology and sustainable development,

Wu et al (2015). Renewability and sustainability of biogas system: Cosmic exergy based assessment for a case in China,

Chen et al (2014). Ecological accounting for China based on extended exergy,

Santos (2013). Sustainability and biophysics basis of technical and economic processes: A survey of the reconciliation by thermodynamics,)

Sciubba (2011). A revised calculation of the econometric factors α - and β for the Extended Exergy Accounting method,

2.9 HUELLA DE CARBONO

La Huella de Carbono (HC), según el IPCC, es la totalidad de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos directa o indirectamente por una persona, organización, evento o producto a lo largo de su ciclo de vida. Estas emisiones se expresan en términos de equivalentes de dióxido de carbono (CO₂e) y comprenden

emisiones directas (provenientes de fuentes propias o controladas, como la combustión de combustibles fósiles), emisiones indirectas (resultantes del consumo de electricidad, calor o vapor adquiridos, y otras relacionadas con actividades como la cadena de suministro y los viajes de negocios) (IPCC, 2014; IPCC, 2019). En la TABLA 3 y TABLA 4, se muestra la huella de carbono de los principales biocombustibles y combustible fósil.

TABLA 3: HUELLA DE CARBONO DE PRINCIPALES BIOCOMBUSTIBLES
Ton. de Producción y Consumo.

Obtenido desde: Felder et al 2005, IPCC 2006, MDPI 2024

Biocombustible	Producción (kg CO₂/ton)	Energía Producida (GJ/ton) (kWh/ton)		Consumo (kg CO₂/ton)
Biodiésel	500 - 2,500	36	10,000	2,700
Bioetanol	800 - 1,500	27.36	7,600	1,900
Biomasa (Pellets)	87.19	14.4	4,000	1,055 - 1,767
Biogás	400 - 600	21.6	6,000	1,800

TABLA 4: HUELLA DE CARBONO DE PRINCIPALES COMBUSTIBLES FÓSILES

Ton de Producción y Consumo.

Obtenido desde: Felder et al 2005, IPCC 2006, IEA 2023

Combustible Fósil	Producción (kg CO₂/ton)	Energía Producida (GJ/ton) (kWh/ton)		Consumo (kg CO₂/ton)
Diésel	450 - 550	43.2	12,000	3,140
Gasolina	470 - 560	46.1	12,800	3,070
GLP	300 - 400	50.0	13,900	3,020
Gas Natural	250 - 350	50.0	13,800	2,750
Carbón	600 - 800	25.2	7,000	2,500 - 3,600

2.9.1. Tonelada de HC (CO₂) igual a Toneladas de Materia Viva Consumida (MVC)

HC = MVC: Donde una tonelada de CO₂ emitido se compensa produciendo una tonelada de materia viva (Figura 2). El M9PGEPS impulsa la convención de compensar. Este proceso es beneficioso porque absorbe hasta 6,500 kWh de energía solar, contribuyendo a enfriar el planeta, generando 760 kg de O₂ y purificando 910 kg de agua al fijar 270 kg de carbono. La huella de carbono de la biomasa por producción y consumo es de 190 kg de CO₂, lo que equivale a una emisión térmica de aproximadamente 472.8 kWh. Este valor se resta de los 6,500 kWh absorbidos, resultando en un saldo positivo energético de aproximadamente 6,027.2 kWh por cada tonelada de materia viva producida y consumida (IPCC, 2006; Schaefer et al., 2024).

2.9.2. El proceso de conversión de CO₂ a biomasa

El proceso de conversión consta de cuatro fases (IPCC, 2006; HALLIDAY et al 2014):

1. *Fotosíntesis*: 1 kg de CO₂ se fija en la planta mediante fotosíntesis, absorbiendo hasta 6.5 kWh de energía solar y liberando 0.73 kg de oxígeno.
2. *Disociación de CO₂*: De 1 kg de CO₂, se disocian 0.27 kg de carbono y 0.73 kg de oxígeno, utilizando 2.48 kWh de energía solar para romper los enlaces moleculares, liberando oxígeno como subproducto.
3. *Hidrólisis del Agua*: Se absorben hasta 4.02 kWh de energía solar para hidrolizar 0.91 kg de H₂O y obtener hidrógeno, necesario para la formación de biomasa, liberando hasta 0.856 kg de oxígeno como subproducto.
4. *Formación de Biomasa (CH₂O)*: 1 kg de biomasa se obtiene de 1 kg de CO₂. El carbono y el hidrógeno del agua se combinan para formar biomasa (CH₂O), un compuesto orgánico simple que constituye la base de la materia viva.

Conocer y entender la conversión del CO₂ a biomasa es clave para gestionar estratégicamente la bioenergía, de modo que, con cada unidad producida y consumida, se mitigue el calentamiento global y se haga un planeta más sostenible.

TABLA 5: PROCESO DE CONVERSIÓN DE CO₂ A BIOMASA

Entradas	Proceso	Salida
CO ₂ : 1 kg	Fotosíntesis	CH ₂ O (1 kg Biomasa) O ₂ emitido (0.73 kg)
	Conversión a CH ₂ O (Biomasa)	Hasta 6.5 kWh de energía absorbida (23,402.05 kJ)
	Disociación de CO ₂	O ₂ emitido (0.73 kg) Energía: 2.48 kWh (8,930.45 kJ) C (0.27 kg)
	Hidrólisis del Agua	H ₂ (0.054 kg) + O ₂ (0.856 kg) Energía: 4.02 kWh (14,471.6 kJ)
H ₂ O: 0.91 kg	Conversión a Biomasa	CH ₂ O (1 kg Biomasa), hasta 6.5 kWh de energía absorbida (23,402.05 kJ) por kg de biomasa producida

Fuente: Felder & Rousseau (2005); Smith et al. (2005); Atkins & de Paula (2010); McQuarrie & Simon (1997); Halliday et al. (2014); IPCC (2006); MDPI (2024); Ravilious (2020).

CAPITULO III

ESTADO DEL ARTE

Se realizó una revisión exhaustiva de más de 500 publicaciones, incluyendo libros, artículos y tesis. Durante este proceso de investigación, se definió un marco conceptual y operativo para la integración y adaptación de diversos modelos y metodologías. Estos, generalmente aplicados a la gestión estratégica de negocios y emprendimientos privados, se adaptaron para abordar temas de interés socioeconómico público y servicios públicos en ámbitos sectoriales, regionales y locales, tales como los siguientes:

En el análisis de estos modelos, se ha observado que la eficiencia operativa se logra principalmente al reducir la incertidumbre, lo que requiere invertir en procesos más estables, predecibles y sostenibles. Esto implica reducir la generación de entropías en todas sus formas, ya que la entropía representa desorden o pérdida en términos de energía, recursos y tiempo. Al disminuir la entropía, los sistemas se vuelven más eficientes, lo que contribuye a la sostenibilidad a largo plazo.

La gestión estratégica de procesos, dentro del amplio marco de la ingeniería, se enfoca en factores clave de éxito prospectivos, con la finalidad de lograr los resultados deseados en el futuro. Esto se consigue articulando y optimizando las operaciones presentes a lo largo del tiempo, orientándolas hacia un escenario futuro deseado. En este contexto, la predictibilidad y la estabilidad de los procesos son esenciales para reducir la incertidumbre y maximizar la eficiencia operativa, creando así un marco de sostenibilidad basado en la gestión eficiente de recursos

3.1. MODELO DE GESTION ESTRATEGICA

Para fijar con claridad y precisión que es un Modelo de Gestión Estratégica, comenzamos definiendo qué es, ¿Modelos y Gestión Estratégica? En ese sentido, podemos citar a varios autores que han contribuido significativamente a definir Modelo y Gestión Estratégica en diversos campos.

3.1.1. MODELO (M) SEGÚN DIVERSOS AUTORES:

- *Rosenblueth & Wiener (1945)*: Un modelo es una representación simplificada de un sistema real que abstrae sus características esenciales para facilitar la comprensión y el análisis. Los modelos permiten a los investigadores analizar sistemas complejos sin lidiar con toda su complejidad intrínseca.
- *Burnham & Anderson (2002)*: Un modelo es una estructura matemática que describe las relaciones entre variables dentro de un sistema, utilizada para predecir y analizar comportamientos. Los modelos matemáticos son esenciales para proporcionar predicciones precisas y análisis detallados en las ciencias naturales e ingenierías
- *North & Macal (2007)*: Un modelo computacional es una simulación por ordenador que imita el comportamiento de sistemas complejos, permitiendo experimentar con diferentes variables y escenarios. Estos modelos son fundamentales para gestionar la complejidad empresarial y tomar decisiones estratégicas
- *Epstein (2008)*: Un modelo es una herramienta que permite explorar hipótesis y simular escenarios para entender mejor el comportamiento de un sistema. Estos modelos son cruciales para prever resultados y explorar las implicaciones de diversas variables y condiciones.

Como vemos estos autores han aplicado modelos a sus diversas disciplinas, para explorar hipótesis, analizar relaciones entre variables, y prever resultados, que permita gestionar efectivamente estrategias.

3.2. GESTIÓN ESTRATÉGICA (GE)

A continuación, presentamos las definiciones de tres autores que han contribuido significativamente en el campo de la GE.

- *Koontz & Weihrich (2010)* definen la gestión estratégica como el proceso continuo de tomar decisiones empresariales estratégicas y organizarlas de manera sistemática para implementar dichas decisiones y medir los resultados contra las expectativas a través de retroalimentación organizada y sistemática. Este enfoque busca alinear los recursos y capacidades de la organización con su entorno cambiante para lograr sus objetivos a largo plazo.
- *Robbins & Coulter (2018)* describen la gestión estratégica como un proceso que implica la formulación e implementación de estrategias que permiten a una organización alcanzar sus objetivos. Este proceso incluye el análisis del entorno

interno y externo de la organización, la formulación de estrategias a diferentes niveles (corporativo, de negocio y funcional), y el análisis y control de dichas estrategias para asegurar su efectividad y adaptación continua a cambios en el entorno.

- *Drucker (2001, 2022)* define la gestión estratégica como un proceso continuo de toma de decisiones empresariales estratégicas con el mayor conocimiento posible sobre su futuridad, organizando sistemáticamente los esfuerzos necesarios para llevar a cabo estas decisiones y midiendo los resultados contra las expectativas a través de retroalimentación organizada y sistemática. Drucker enfatiza que la estrategia debe enfocarse en la innovación y en tomar los riesgos correctos, reconociendo la incertidumbre inherente del entorno.

Por lo tanto, la Gestión Estratégica (GE) se refiere al proceso de toma de decisiones para planificar, organizar, dirigir y controlar los recursos y actividades de una organización, permitiendo alcanzar sus objetivos de manera eficiente y efectiva. Este proceso implica la coordinación de recursos humanos, financieros y materiales en la implementación de estrategias y políticas para mejorar el rendimiento organizacional (Koontz & Weihrich, 2010; Robbins & Coulter, 2018; Drucker, 2001).

3.2.1. DEFINICIÓN DE MODELO DE GESTIÓN ESTRATÉGICA (MGE):

MGE Según varios autores, que han contribuido significativamente en este campo:

- *Ansoff (1965)* define el MGE como un enfoque analítico para la política empresarial orientada al crecimiento y la expansión. Componentes de su modelo: Análisis del entorno, donde se evalúan oportunidades y amenazas externas; Capacidades internas, que abarcan fortalezas y debilidades; Objetivos de crecimiento, enfocados en metas de expansión y diversificación; Selección de estrategias, donde se identifican y eligen las estrategias para alcanzar los objetivos; Implementación, que es la ejecución de las estrategias seleccionadas; Control y evaluación, que involucra el monitoreo y ajuste continuo de las estrategias.
- *Mintzberg (1994)* critica la planificación estratégica formal y propone un enfoque más flexible y adaptativo para la gestión estratégica. Los componentes de su modelo incluyen: Visión estratégica, que proporciona una comprensión clara del propósito y dirección; Proceso emergentista, donde las estrategias emergen de decisiones y acciones cotidianas; Planificación informal, que utiliza la planificación

como una guía flexible; Aprendizaje organizacional, que fomenta la adaptación y el aprendizaje continuo; Participación y compromiso, que asegura la inclusión de múltiples actores en el proceso estratégico.

- *David (2011)* define la gestión estratégica como el arte y la ciencia de formular, implementar y evaluar decisiones multifuncionales que permiten a una organización alcanzar sus objetivos. Su modelo incluye los siguientes componentes: Formulación de estrategias, que abarca el desarrollo de la misión, visión y objetivos; el análisis FODA, que evalúa fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas; Implementación de estrategias, que implica la ejecución de planes y políticas; Evaluación de estrategias, que monitorea y ajusta las estrategias según los resultados; y la Cultura organizacional, que resalta la importancia de la cultura en la implementación.
- *Hill y Jones (2012)* definen la gestión estratégica como un proceso integral que incluye el análisis, la elección y la implementación de estrategias que aseguren la competitividad y el éxito a largo plazo. Su modelo incluye los componentes: análisis del entorno externo, donde evalúa la industria y el entorno competitivo; el análisis interno, evalúa los recursos y capacidades; la formulación de estrategias, define estrategias a nivel corporativo, de negocio y funcional; la implementación de estrategias, asigna recursos y diseña la organización; el análisis y control, monitorea el desempeño y ajusta las estrategias.
- *Hrebiniak (2005)* se enfoca en la ejecución de la estrategia, destacando que una buena formulación sin una ejecución efectiva no garantiza el éxito. Los componentes que incluye son: Formulación de estrategias claras y coherentes; Ejecución de estrategias, que implica la implementación efectiva de los planes estratégicos; Alineación organizacional, para asegurar la alineación de la estructura, el proceso y la cultura con la estrategia; Liderazgo y gestión del cambio, donde se resalta la importancia del liderazgo en la implementación y el cambio organizacional; Medición y control, mediante sistemas, para evaluar el progreso.

Uniendo las definiciones de diversos autores con contribuciones significativas en M y GE. El MGE es un marco estructurado que guía a las organizaciones en el proceso de análisis de contexto, definición de objetivos, formulación e implementación de estrategias, finalmente evaluación y control de resultados, con el fin de alcanzar el éxito a largo plazo (Ansoff, 1965; Mintzberg, 1994; David, 2011; Hill & Jones, 2012;

Hrebiniak, 2005). El MGE se estructura con los siguiente componentes clave, que a continuación se describen:

- Análisis del contexto y control de resultados: *la gestión siempre se inicia con la evaluación y análisis del contexto, seguido por las decisiones que definen los desafíos, objetivos y estrategias. una vez implementadas estas estrategias, su desempeño y progreso se monitorean continuamente.* robbins & judge (2019) destacan la importancia de los sistemas de control organizacional para asegurar que las estrategias se ejecuten según lo planificado y se realicen ajustes cuando sea necesario. kaplan y norton (1996) sugieren el uso del balanced scorecard para realizar un seguimiento continuo del desempeño y garantizar que las acciones estén alineadas con los objetivos estratégicos.
- Definición de Objetivos: Se refieren a las metas y aspiraciones específicas que una organización se propone alcanzar en un horizonte de tiempo extendido, generalmente de tres a cinco años, aunque algunos objetivos pueden extenderse aún más, dependiendo de la naturaleza y escala del negocio. Estos objetivos son cruciales para dirigir el enfoque y los esfuerzos de toda la organización hacia resultados que aseguren su sostenibilidad y éxito en el futuro (David, 2011; Hill & Jones, 2012; Bryson, 2011).
- Formulación de Estrategias: Implica el desarrollo de planes y políticas para alcanzar los objetivos organizacionales. Hill y Jones (2012) señalan que este proceso debe considerar diversas alternativas estratégicas y seleccionar la que mejor se alinee con los recursos y capacidades de la organización. David (2011) sugiere que la formulación estratégica debe incluir la definición de la visión, misión y valores de la organización, así como el establecimiento de objetivos a largo plazo y estrategias funcionales.
- Implementación de Estrategias; Es el proceso de poner en práctica los planes estratégicos desarrollados. Hrebiniak (2005) subraya la importancia de la ejecución efectiva de las estrategias, argumentando que incluso las mejores estrategias pueden fallar si no se implementan adecuadamente. Kaplan y Norton (1996) introducen el concepto del Balanced Scorecard como una herramienta para traducir la estrategia en acciones operativas, alineando los objetivos estratégicos con las métricas de desempeño.

Los componentes de MGE son bloques principales que agrupan elementos esenciales y forman la base de un modelo. Estos componentes se dividen en

componentes clave y específicos, y pueden cambiar o potenciarse integrando otros elementos o componentes, permitiendo la adaptación y mejora continua del modelo. *Componentes Clave (CC)*: Son esenciales y universales en cualquier modelo de gestión estratégica efectivo. Representan las áreas fundamentales necesarias para el éxito a largo plazo de la organización y pueden integrar otros componentes o elementos para fortalecer su efectividad (Koontz & Weihrich, 2010; Robbins & Coulter, 2018). *Componentes Específicos (CE)*: Están adaptados a las necesidades particulares de una organización o contexto específico, variando según la industria, el entorno operativo y los objetivos de la organización. Incluyen la gestión del conocimiento, la sostenibilidad y responsabilidad social, y la innovación y emprendimiento. La identificación y gestión adecuada de ambos tipos de componentes son fundamentales para el éxito y la sostenibilidad de la organización a lo largo del tiempo, permitiendo que el modelo de gestión se adapte y mejore continuamente (Koontz & Weihrich, 2010; Robbins & Coulter, 2018).

Una revisión de artículos de revistas de las bases de datos de Scopus, Web of Science, Emerald, IET y ScienceDirect permite identificar 16 MGE y sus componentes claves y específicos, los cuales se describen en la TABLA 6.

TABLA 6 MODELO DE GESTIÓN ESTRATÉGICA

ID	Descripción del MGE, Contexto y/o Lugar de Aplicación, Logros Claves	Componentes específicos de los MGE*	Fuente
M01	Modelo de gestión estratégica para el desarrollo económico, aplicado en contextos económicos y de política pública para fomentar el crecimiento y la sostenibilidad económica.	Adaptación a cambios económicos, Crecimiento sostenible.	Diskiēne et al, 2008
M02	Marco de modelo de gestión estratégica para la estrategia Europa 2020, análisis diacrónico y directrices propuestas para la implementación de políticas de desarrollo en la Unión Europea.	Monitoreo continuo, Ajustes basados en resultados.	Balezentis & Balezentis 2011
M03	Modelo de integración de políticas de Ambiental Estratégico para la gestión de residuos sólidos en Malasia, con enfoque en la sostenibilidad y eficiencia en la gestión de residuos.	Coordinación de políticas ambientales, Enfoque en sostenibilidad, Eficiencia operativa.	Victor & Agamuthu 2013
M04	Planificación de inversiones y gestión estratégica de sistemas sostenibles para la generación de energía limpia, enfoque multiobjetivo basado en restricciones, aplicado en la gestión de proyectos energéticos.	Consideración de impactos ambientales y sociales, Desarrollo de tecnologías energéticas limpias.	Balaman 2016
M05	Modelo de gestión estratégica con enfoque de arquitectura empresarial para la integración del sistema de dirección en empresas colombianas,	Promoción de la colaboración y alineación interna.	Malleuve-Martínez et al 2018

promoviendo la eficiencia y cohesión en las operaciones empresariales.

M06	Modelos y herramientas de gestión del conocimiento estratégico para universidades emprendedoras, aplicados en instituciones académicas para fomentar la innovación y la transferencia de conocimiento.	Gestión del conocimiento, Transferencia de conocimiento, Fomento del emprendimiento académico.	Secundo et al 2019
M07	Modelo de gestión estratégica sostenible para empresas hoteleras, propuesta multi-stakeholder para avanzar hacia los ODS, aplicado en la industria hotelera para mejorar la sostenibilidad y responsabilidad social.	Responsabilidad social y sostenibilidad, Alineación con ODS, Mejora continua.	Rubio-Mozos et al 2020
M08	Modelo de gestión forestal estratégica para optimizar el rendimiento maderero y la captura de carbono, aplicado en la gestión de bosques para mejorar la sostenibilidad y el aprovechamiento de recursos.	Captura de carbono, Sostenibilidad a largo plazo.	Carle et al 2021
M09	Marco para sistemas de inteligencia estratégica aplicados a la gestión educativa, estudio piloto en la Comunidad de Madrid, para mejorar la toma de decisiones y la eficiencia en la gestión educativa.	Toma de decisiones, Eficiencia operativa.	Berges et al. 2021
M10	Evaluación de un programa de gestión estratégica: modelo CIPP (Contexto, Entrada, Proceso, Producto) como prototipo para academias de negocios, aplicado en instituciones educativas para evaluar y mejorar programas.	Evaluación CIPP, Mejora continua basada en resultados.	Birgili & Kirkic 2021
M11	Análisis empírico de la gestión estratégica en organizaciones intergubernamentales, aplicado en la gestión de organizaciones internacionales para mejorar la cooperación y efectividad.	Cooperación internacional, Mejora de efectividad operativa.	Wan et al 2022
M12	Gestión estratégica de la pérdida de agua: estado actual y nuevo modelo para futuras perspectivas, aplicado en la gestión de recursos hídricos para mejorar la eficiencia y sostenibilidad en el uso del agua.	Eficiencia en el uso del agua, Reducción de pérdidas de agua.	Bozkurt et al 2022
M13	Estrategia robusta de gestión y optimización de hubs energéticos basada en modelos de probabilidad de incertidumbres y programas de respuesta a la demanda, aplicada en la gestión de energía.	Modelos de probabilidad, Respuesta a la demanda, Sostenibilidad.	Iranpour et al 2022
M14	Diseño de un modelo de protocolo para la integración del valor social en la gestión estratégica a través de la contabilidad social, aplicado en la gestión de empresas con enfoque en responsabilidad social.	Integración del valor social, Contabilidad social.	Echanove-Franco et al 2023
M15	Uso del método Fuzzy Best Worst para analizar modelos de planificación estratégica, aplicado en la gestión de procesos para mejorar el Análisis y selección de estrategias.	Método Fuzzy Best Worst, Análisis de Estrategias	Ajripour & Hanne 2023
M16	Modelo integrado de gestión estratégica impulsado por la sostenibilidad para proyectos urbanos costeros, aplicado en la gestión de proyectos de desarrollo urbano para mejorar la sostenibilidad y resiliencia.	Integración de Sostenibilidad, Gestión de Proyectos Urbanos	Huynh et al. 2023

* Todos los modelos presentan las componentes claves, sin embargo, estas se diferencian por las componentes específicas

En la TABLA 6 se identifican un total de 36 componentes, de los cuales 4 son CC (Componentes Claves) en los 16 MGE.

3.3. LA INGENIERIA INDUSTRIAL Y LA GESTIÓN ESTRATEGICA DE LOS PROCESOS SOSTENIBLES

La Ingeniería Industrial abarca un amplio espectro de disciplinas y desempeña un papel central en la ingeniería de procesos (FIGURA 20). Según el Institute of Industrial and Systems Engineers, "la Ingeniería Industrial se dedica a diseñar, mejorar e instalar sistemas integrados de personas, materiales, información, equipos y energía". Esto implica transformar los insumos en resultados deseados de la manera más efectiva posible. Los ingenieros industriales conciben, diseñan y mejoran continuamente la Gestión Estratégica (GE) de los procesos, tal como lo definen Hill y Jones (2012), mediante un manejo integral del proceso para alcanzar los resultados esperados. En este contexto, la Ingeniería Industrial es la disciplina que concibe, diseña, gestiona la implementación y mejora de los procesos. Los ingenieros industriales tienen la capacidad de cuantificar, entender y planificar la acción adecuada, beneficiando a las personas y creando valor, prosperidad y paz de manera responsable y sostenible, en sinergia con el planeta (Figura 3).

FIGURA 20:

METRICAS DE LOS PROCESOS



Fuente: Elaboración Propia

En 2021, Elia et al. publicaron un artículo en el que investigaron la historia de la integración de los conocimientos científicos y de ingeniería con la gestión, y su contribución efectiva al funcionamiento de organizaciones e industrias. Hoy en día,

una serie de transformaciones socio-tecnológicas disruptivas plantea nuevos desafíos, enmarcados dentro del dominio más amplio de la ingeniería industrial, donde se integran el conocimiento científico y tecnológico con la gestión de procesos naturales, sociales y económicos.

Como se muestra en la TABLA 7, el artículo presenta un extenso trabajo de búsqueda y análisis de evidencia académica y profesional sobre la ingeniería y la gestión, lo que permitió exponer una taxonomía de 467 conceptos y 32 tópicos agregados. En ese mismo sentido, Pawar et al. (2021) aportaron una revisión literaria sobre la aplicación de la ingeniería para la resiliencia en diferentes campos, principalmente enfocados en sistemas industriales. Luca et al. (2020) desarrollaron una taxonomía basada en una revisión literaria dirigida a responder tres preguntas principales: (1) qué medir, (2) dónde medir y (3) cómo medir. Ofrecieron una imagen clara de los indicadores relevantes disponibles en términos de propósito, contexto y metodología.

TABLA 7: TAXONOMÍA DE TÓPICOS DE INGENIERÍA CON GESTIÓN

N	Topic	N	Topic
1	Business and Innovation Ecosystems	17	Organization Theory
2	Complexity Science	18	Organizational Transformation
3	Cost Engineering	19	Performance and Value Management
4	Digital Business and Digital Economy	20	Process Management
5	Economic and Industrial Systems	21	Project Management
6	Financial Engineering	22	Quality Management
7	Global Business Management	23	R&D Management
8	Human Resources Management	24	Risk Management
9	Innovation Management	25	Social Transformations
10	Knowledge and Intellectual Capital Management	26	Strategic Management
11	Leadership	27	Supply Chain Management
12	Logistics and Transportation Systems	28	Sustainability Management
13	Management Control Systems	29	Systems Engineering
14	Management Information Systems	30	Systems Theory
15	New Product and Service Development	31	Technology Entrepreneurship
16	Operations Management	32	Technology Management

Fuente: Elia et al 2021

TABLA 8: ARTÍCULOS RELACIONADOS CON TÓPICOS Y CONCEPTO DE LA INGENIERÍA INDUSTRIAL Y LA GEP (2023)

N°	Autor, Año	Artículo, Tópico
1	Belmonte et al 2023	Training industrial engineers in Logistics 4.0
2	Colabianchi et al 2023	Human-technology integration with industrial conversational agents: A conceptual architecture and a taxonomy for manufacturing
3	Disselkamp et al 2023.	Integrated product and production development - a systematic literature review
4	Franzò & Urbinati 2023	Managing resource loops in circular supply chains: A taxonomy of multi-sided platforms in the B2B setting
5	Gómez-Coma et al 2023	Integration of chemical engineering skills in the curriculum of a master course in industrial engineering
6	Huffman et al 2023	Analysis of sustainability metrics from a process design and operation perspective
7	Li & Sun 2023	Repositioning shared bikes under low-carbon policies
8	Liu et al 2023	SCR-CUSUM: An illness-death semi-Markov model-based risk-adjusted CUSUM for semi-competing risk data monitoring
9	Simard et al 2023	Stochastic programming to evaluate the benefits of coordination mechanisms in the forest supply chain
10	Schäfer et al 2023	Systematics for an Integrative Modelling of Product and Production System
11	Treviño-Elizondo & García-Reyes 2023	What does Industry 4.0 mean to Industrial Engineering Education?
12	Patange & Jobaliya 2023	Scope for problem solving in industrial engineering and management subject curriculum reform for mechanical engineers to leverage the current and upcoming situations
13	Lupi et al 2023	Automatic definition of engineer archetypes: A text mining approach
14	Maghsoudi et al 2023	Towards a taxonomy of waste management research: An application of community detection in keyword network
15	Mendoza et al 2023	Classification of industrial engineering programs in Colombia based on state tests
16	Benini et al 2022	Proposal of a strategic model to unlock the circular potential in industrial practice
17	Colim et al 2022	Occupational Safety & Ergonomics training of Future Industrial Engineers: a Project-Based Learning Approach
18	Upham et al 2022	Just transitions for industrial decarbonisation: A framework for innovation, participation, and justice
19	Amiraslani 2021.	Rising to the top ten transformative projects in Asia and the Pacific: A stakeholder analysis of the community-based carbon sequestration project in Eastern Iran
20	Gomez-Echeverri et al 2021	Integrated design – multi-view approach for production systems design

TABLA 9: ARTÍCULOS RELACIONADOS CON TÓPICOS Y CONCEPTO DE LA INGENIERÍA INDUSTRIAL Y LA GEP (2022-2006)

N°	Autor, Año	Artículo, Tópico
21	Palma-Setti et al 2021	Integrated product development method based on Value Engineering and design for assembly concepts
22	Pawar et al 2021	Applications of resilience engineering principles in different fields with a focus on industrial systems: A literature review
23	Wagner et al 2021	The influence of project management associations on projectification of society – An institutional perspective
24	Fraccascia & Giannoccaro 2020	What, where, and how measuring industrial symbiosis: A reasoned taxonomy of relevant indicators
25	Gamer et al 2020	The autonomous industrial plant – future of process engineering, operations and maintenance
26	Kwon et al 2020	A review of recent advancements in utilization of biomass and industrial wastes into engineered biochar
27	Luca et al 2020	What, where, and how measuring industrial symbiosis: A reasoned taxonomy of relevant indicators
28	Zhang et al 2020	Towards customization: Evaluation of integrated sales, product, and production configuration
29	Lee-Kelley 2018.	When 'knowing what' is not enough: Role of organized simulations for developing effective practice
30	Stoffels et al 2018	Integrated Product and Production Engineering Approach – A Tool-Based Method for a Holistic Sustainable Design
31	Kuznetsov et al 2017	Comparative Integrated Manufacturing Efficiency in Production Engineering
32	Bilge et al 2016	A Novel Framework for Achieving Sustainable Value Creation Through Industrial Engineering Principles
33	Constable et al 2016	Chapter One - Towards More Sustainable Chemical Engineering Processes: Integrating Sustainable and Green Chemistry into the Engineering Design Process
34	Rose et al 2015	Implementing a holistic process for embedding sustainability: a case study in first year engineering
35	Álvarez et al 2014	Programación de operaciones mediante la teoría de restricciones
36	Müller et al 2014	Organizational enablers for governance and governmentality of projects: A literature review
37	Tran et al 2006	Practical process control techniques training

En el contexto de la Ingeniería Industrial, la Ingeniería de los Proceso Sostenibles (IPS) se sobreentiende que abarca la Gestión Estratégica de Procesos (GEPS) más los elementos técnicos de ingeniería del diseño y mejorar continua de procesos.

CAPÍTULO IV

LA INGENIERIA PARA LA GESTIÓN ESTRATEGICA DE LOS PROCESOS SOSTENIBLES

Para desarrollo el aporte de modelo de GEPS, se sigue un método sistemático que se describe en el CAPITULO IV y se desarrolla en la CAPITULO V. Se validan en CAPITULO VI, Finalmente, los resultados, discusión y conclusiones CAPITULO VII.

4.1. MÉTODO:

El método a seguir para el desarrollo del modelo GEPS consta de 10 fases:

Fase 1: Inventario de modelos de GE: Se realiza una recopilación exhaustiva de los modelos de Gestión Estratégica (GE) y los relacionados con la ingeniería de procesos sostenibles, existentes en la literatura especializada.

Fase 2: Componentes de los modelos de GE: Se identifican los componentes clave de los modelos de GE.

Fase 3: Inventario de elementos: Se identifican los elementos específicos de los componentes de los modelos de GE.

Fase 4: Homologación de elementos: Se homologan los elementos identificados en la fase 3, asegurando la coherencia y comparabilidad entre ellos.

Fase 5: Homologación de componentes: Se homologan los componentes identificados en la fase 2, siguiendo un proceso sistemático de estandarización.

Fase 6: Adaptación de componentes y elementos: Se ajustan y adaptan los componentes y elementos estándar para su uso en Gestión Estratégica Sostenible (GES).

Fase 7: Diseño del modelo GES: Se diseña el modelo de GES (Gestión Estratégica Sostenible) basado en los componentes y elementos homologados.

Fase 8: Integración del modelo GES: Se integra el modelo de GES con la Ingeniería de Procesos y la Ingeniería Industrial, aplicando principios de Economía Circular (EC).

Fase 9: Integración y aplicación de la Ingeniería de Procesos Sostenibles: Se aplican las metodologías de Teoría de Restricciones (ToC) y Economía Circular al diseño e implementación de procesos sostenibles

Fase 10: Validación del sistema: Se valida el sistema aplicándolo al caso de la Amazonía, utilizando Cadenas de Márkov y flujos de valor y beneficios proyectados a 10 años.

4.2. EJECUCIÓN DEL MÉTODO

En la **Fase 1**, se realizó una revisión exhaustiva de la literatura, cubriendo artículos en revistas indexadas en bases de datos como Scopus, Web of Science, Emerald, IET, y Science Direct. Esto permitió determinar la relación entre la ingeniería y la gestión, así como los nuevos desafíos que enfrenta la ingeniería industrial en relación con la gestión estratégica. Se identificaron 16 Modelos de Gestión Estratégica (MGE), los cuales se presentan en la Tabla 6 de la sección 3.2.1.

TABLA 10: INVENTARIO DE ELEMENTOS POR COMPONENTE EN LOS MODELOS IDENTIFICADOS

Componentes Clave	Elemento Común	Elementos Específicos
Análisis de Contexto y Control de Resultados	- Análisis FODA (SWOT Analysis)	- Análisis Ambiental Estratégico (SEA) (M03, M12) - Análisis del Ciclo de Vida (LCA) (M03, M04, M08, M12) - Inteligencia Estratégica (M09) - Evaluación del Valor Social (M14)
Definición de Objetivos	- Misión y Visión - Establecimiento de Metas a Largo Plazo	- Objetivos de Sostenibilidad (M01, M07, M08, M13, M16) - Objetivos de Resiliencia Urbana (M16) - Crecimiento Sostenible (M01)
Formulación de Estrategias	- Genérico: Análisis de la Competencia - Desarrollo de Estrategias Funcionales	- Estrategias de Transferencia de Conocimiento (M06) - Estrategias de Gestión Forestal (M08) - Estrategias de Cooperación Internacional (M11) - Planificación de Inversiones Energéticas (M04) - Integración de Políticas Ambientales (M03)
Implementación de Estrategias	- Asignación de Recursos - Desarrollo de Planes Operativos - Capacitación y Desarrollo	- Implementación de Políticas de Sostenibilidad (M01, M07, M08, M13, M16) - Políticas de Responsabilidad Social (M07, M14) - Cohesión Organizacional (M05) - Evaluación del Programa con Modelo CIPP (Contexto, Insumo, Procesos, Producto) (M10)

En la **Fase 2**, se analizaron los modelos identificados en la Fase 1 para determinar sus componentes. Se identificaron 4 Componentes Clave (CC): Análisis del contexto y control de resultados, definición de objetivos, formulación de estrategias, e

implementación de estrategias. Estos componentes son comunes en todos los modelos y se definen en las secciones 2 y 3. Además, se identificaron 32 Componentes Específicos (CE) que diferencian estos modelos, los cuales se detallan en la Tabla 10.

En la **Fase 3**, se realizó un inventario de elementos, que se muestra en la Tabla 10, como parte del proceso de homologación y adaptación de los elementos para su integración en el modelo final

En la **Tabla 10**, se identificaron un total de 10 elementos comunes, 16 elementos específicos y 4 elementos estándar.

En la **Fase 4**, se homologaron los elementos identificados en la Fase 3. Los elementos redundantes o con funciones similares fueron clasificados y filtrados. Se consideró que los elementos son las partes constitutivas y fundamentales que conforman cada componente del MGE (Modelo de Gestión Estratégica), e incluyen técnicas, métodos, herramientas, procedimientos y prácticas específicas utilizadas dentro de cada componente para alcanzar los objetivos estratégicos de la organización (Hill & Jones, 2012). Los elementos inventariados en la **Tabla 4** se clasificaron de la siguiente manera:

- **Elementos Comunes:** Son aquellos que aparecen y cumplen acciones o funciones en los 16 MGE. En la **Tabla 10**, estos elementos se muestran en la columna correspondiente.
- **Elementos Específicos:** Son técnicas, métodos o modelos adaptados a las necesidades particulares de una organización o contexto específico. Estos elementos no se encuentran en todos los MGE identificados, como se detalla en la **Tabla 10**, donde se incluye el código del modelo. Son específicos porque su aplicabilidad depende del contexto, la industria y los objetivos particulares de la organización. Estos elementos permiten personalizar las estrategias de gestión para responder a las particularidades del entorno en el que se implementan (Mintzberg et al., 1998).
- **Elementos Genéricos:** Identificados en la **Tabla 10**, suman un total de 22. Son técnicas, métodos o modelos aplicables en múltiples contextos sin estar limitados a un uso específico. Su aplicabilidad es amplia, y pueden adaptarse y utilizarse en diversos sectores (Hitt, Ireland & Hoskisson, 2017).

- **Elementos Estándar:** Del total, se identificaron 4 elementos estándar. Estos son técnicas, métodos o modelos formalizados, codificados y reconocidos por organismos oficiales o instituciones académicas. Tienen procedimientos bien definidos y son aceptados universalmente por su efectividad y consistencia en la aplicación (ISO, 2006). Los identificados son los siguientes:
 - **Análisis FODA (SWOT Analysis):** Herramienta estratégica para identificar y evaluar fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas en una organización. Su uso común en los 16 MGE destaca su aplicabilidad universal y efectividad (Hitt, Ireland & Hoskisson, 2017).
 - **Análisis Ambiental Estratégico (SEA):** Método estandarizado que integra consideraciones ambientales en la planificación de políticas, planes y programas para garantizar el desarrollo sostenible. Aunque específico, su implementación en ciertos MGE subraya su importancia en la gestión ambiental (ISO, 2006).
 - **Análisis del Ciclo de Vida (LCA):** Técnica formalizada utilizada para evaluar los impactos ambientales de un producto o proceso, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. Su aplicación en algunos MGE muestra su relevancia en la sostenibilidad y gestión de impactos ambientales (ISO, 2006).
 - **Evaluación del Programa con Modelo CIPP:** Marco de evaluación integral que analiza el contexto, las entradas, el proceso y el producto de programas educativos, proyectos y políticas. Aunque es un enfoque específico, es crucial para el análisis exhaustivo de programas estratégicos en ciertos contextos (Stufflebeam & Shinkfield, 2007).

Recomendación: El **Análisis FODA** destaca por su uso común y universal en los 16 MGE, evidenciando su flexibilidad y aplicabilidad en diversos contextos organizacionales. Sin embargo, la **SEA** (Análisis Ambiental Estratégico) solo aparece en dos de ellos, aunque es crucial hacerla previamente para realizar un **FODA** adecuado. El **LCA** (Análisis del Ciclo de Vida) y la **Evaluación CIPP** son elementos específicos que no están presentes en todos los MGE, pero su implementación aportaría un valor significativo. Junto con la **SEA**, estos deberían considerarse

elementos comunes en los MGE y especialmente en los MGEPS (Modelos de Gestión Estratégica de Procesos Sostenibles).

Por otra parte, la clasificación en elementos comunes y específicos subraya la importancia de adaptar los modelos de gestión estratégica a las necesidades y desafíos particulares de cada organización. La **Tabla 10** presenta estos elementos homologados, que incluyen 4 elementos estándar para los MGE.

En la **Fase 5**, se homologaron los componentes identificados en la **Fase 2**. Se filtraron los componentes redundantes o similares, y se clasificaron. Finalmente, se concluyó que los **Componentes Clave (CC)** estandarizados de un MGE son cuatro, como se observa en la **Tabla 11** a continuación.

TABLA 11: COMPONENTES CLAVE HOMOLOGADOS DE UN MGE

CCE (Análisis del Contexto y Control de Resultados)
CCD (Definición de Objetivos)
CCF (Formulación de Estrategias)
CCI (Implementación de Estrategias)

Además, los 32 componentes específicos pueden integrarse a los **Componentes Clave (CC)** para que el Modelo de Gestión Estratégica (MGE) cumpla su propósito, sea robusto y tenga sentido. Esto depende del contexto, propósito, personas, procesos y productos a obtener. En ese sentido, los componentes específicos (CE) determinan lo que debe hacer cada componente clave en el MGE. En la **Tabla 12** se observa el impacto determinado por los autores sobre la integración de los CE en los CC de sus MGE.

En la **Fase 6**, se adaptaron los elementos para los modelos de bioenergía sostenible (BS) y el modelo GEBS (Gestión Estratégica de la Bioenergía Sostenible). En la **Fase 5**, se determinó que todos los MGE tienen los mismos **Componentes Clave (CCE, CCD, CCF, CCI)**, pero con diversos componentes específicos (CE), los cuales dependen de las particularidades de cada MGE.

En la **Fase 4**, se observó que los elementos son los que realizan las acciones o cumplen funciones dentro de los **CC**. A continuación, se muestra cómo, en los 16 MGE, los CC integran CE y elementos para realizar acciones o cumplir funciones, según los autores:

TABLA 12: IMPACTO SEGÚN AUTORES DE LA INTEGRACIÓN CE CON CC, EN LOS 16 MGE IDENTIFICADOS

ID	CC + CE	Impacto Según el Autores
M01	CCE y CCD: con: Crecimiento sostenible, Adaptación a cambios económicos	La integración asegura la adaptabilidad y sostenibilidad a largo plazo (Diskiene et al 2008)
M02	CCD y CCE con: Monitoreo continuo, Ajustes basados en resultados	Permite realizar ajustes precisos basados en resultados reales, mejorando la implementación (Balezantis & Balezantis 2011)
M03	CCE y CCI con: Coordinación de políticas ambientales, Enfoque en sostenibilidad, Eficiencia operativa	Garantiza la eficiencia operativa y la sostenibilidad en la gestión de residuos (Victor & Agamuthu, 2013)
M04	CCF y CCI con: Impactos ambientales y sociales, Desarrollo de tecnologías energéticas limpias	Asegura que las inversiones sean sostenibles y socialmente responsables (Balaman, 2016)
M05	CCD y CCI con: Promoción de la colaboración y alineación interna	Mejora la cohesión interna y la eficiencia en las operaciones empresariales (Malleuve-Martínez et al 2018)
M06	CCF y CCI con: Gestión del conocimiento, Transferencia de conocimiento, Fomento del emprendimiento académico	Facilita la innovación y transferencia de conocimiento en el entorno académico (Secundo et al 2019)
M07	CCD y CCI con: Responsabilidad social y sostenibilidad, Alineación hotelera con ODS, Mejora continua	Alinea las operaciones con los ODS y promueve la sostenibilidad en la industria hotelera (Rubio-Mozos et al 2020)
M08	CCF y CCE con: Captura de carbono, Sostenibilidad a largo plazo	Optimiza el rendimiento forestal y asegura la sostenibilidad de los recursos (Carle et al 2021)
M09	CCE y CCI con: Toma de decisiones, Eficiencia operativa	Mejora la toma de decisiones y la eficiencia operativa en la gestión educativa (Berges et al., 2021)
M10	CCE y CCI con: Evaluación CIPP, Mejora continua basada en resultados	Proporciona una evaluación exhaustiva y mejora continua basada en resultados (Birgili & Kirkic, 2021)
M11	CCE y CCF con: Cooperación internacional, Mejora de efectividad operativa	Mejora la cooperación y la efectividad operativa en organizaciones internacionales (Wan et al 2022)
M12	CCF y CCI con: Eficiencia en el uso del agua, Reducción de pérdidas de agua	Asegura la eficiencia y sostenibilidad en la gestión de recursos hídricos (Bozkurt et al., 2022)
M13	CCF y CCI con: Modelos de probabilidad, Respuesta a la demanda, Sostenibilidad	Mejora la planificación y optimización de recursos energéticos bajo condiciones de incertidumbre (Iranpour et al., 2022)
M14	CCF y CCI con: Integración del valor social, Contabilidad social	Asegura que las estrategias consideren y reporten el impacto social de las actividades empresariales (Echanove-Franco et al 2023)
M15	CCF y CCI con: Método Fuzzy Best Worst, Análisis de Estrategias	Mejora el Análisis y selección de estrategias mediante el método Fuzzy Best Worst (Ajripour & Hanne 2023)
M16	CCF y CCI con: Integración de Sostenibilidad, Gestión de Proyectos Urbanos	Mejora la sostenibilidad y resiliencia en el desarrollo urbano costero (Huynh et al 2023)

1. **Análisis del Contexto y Control de Resultados** en el MGESB (Modelo de Gestión Estratégica Sostenible de la Bioenergía) es fundamental para entender el entorno y medir el desempeño continuo. Este componente se fortalece integrando CE como la adaptación a cambios económicos (Diskiene et al., 2008), monitoreo continuo y ajustes basados en resultados (Balezentis & Balezentis, 2011), y evaluación CIPP y mejora continua basada en resultados (Birgili & Kirkic, 2021). Además, se incluyen la coordinación de políticas ambientales y eficiencia operativa (Victor & Agamuthu, 2013), cooperación internacional y mejora de efectividad operativa (Wan et al., 2022), y el método Fuzzy Best Worst para el Análisis de estrategias (Ajripour & Hanne, 2023). Esto asegura que el modelo sea adaptable, eficiente y capaz de responder a las dinámicas cambiantes del entorno. La integración de estos elementos garantiza una gestión robusta y precisa, asegurando la efectividad del MGESB.
2. **Definición de Objetivos** del MGESB es crucial para establecer una dirección clara y alcanzable. Este componente se enriquece con elementos específicos como el crecimiento sostenible y la adaptación a cambios económicos (Diskiene et al., 2008), responsabilidad social, sostenibilidad y alineación con los ODS (Rubio-Mozos et al., 2020). También se integran la captura de carbono y sostenibilidad a largo plazo (Carle et al., 2021), así como la integración del valor social y la contabilidad social (Echanove-Franco et al., 2023). Estos elementos aseguran que los objetivos sean ambiciosos, responsables y sostenibles, considerando tanto los impactos ambientales como sociales.
3. **Formulación de Estrategias** implica desarrollar planes efectivos y sostenibles. Este componente se potencia con la integración de impactos ambientales, desarrollo de tecnologías energéticas limpias (Balaman, 2016), y la gestión del conocimiento y fomento del emprendimiento académico (Secundo et al., 2019). La integración de la sostenibilidad en las estrategias asegura decisiones alineadas con principios de economía circular y sostenibilidad (Huynh et al., 2023).
4. **Implementación de Estrategias** convierte las ideas en acciones concretas. Incluye la promoción de la colaboración y alineación interna (Malleuve-Martínez et al., 2018), eficiencia operativa (Victor & Agamuthu, 2013), reducción de pérdidas de agua (Bozkurt et al., 2022), y la optimización del uso de recursos energéticos (Iranpour et al., 2022). Las políticas de responsabilidad social y

sostenibilidad (Rubio-Mozos et al., 2020) y la contabilidad social (Echanove-Franco et al., 2023) aseguran que las acciones no solo sean efectivas, sino también responsables y sostenibles.

EN LA TABLA 13: COMPONENTES CLAVES Y ELEMENTOS DEL MGEPS

Componentes Claves	Elementos Comunes	Elementos Específicos
Análisis del Contexto y Control de Resultados	Análisis del Contexto, Auditorías y revisiones periódicas, Medición de desempeño, Informes de progreso, Evaluación de programas (CIPP)	Evaluación de Impacto Ambiental (SEA), Monitoreo continuo de estrategias, Evaluación de riesgos, Análisis del ciclo de vida (LCA), Inteligencia estratégica, Evaluación del valor social
Definición de Objetivos	Misión y visión, Establecimiento de metas a largo plazo	Objetivos de sostenibilidad, Objetivos de resiliencia urbana, Crecimiento sostenible
Formulación de Estrategias	Análisis FODA, Análisis de la competencia, Desarrollo de estrategias funcionales	Estrategias de transferencia de conocimiento, Estrategias de gestión forestal, Estrategias de cooperación internacional, Planificación de inversiones energéticas, Integración de políticas ambientales
Implementación de Estrategias	Asignación de recursos, Desarrollo de planes operativos, Capacitación y desarrollo	Implementación de políticas de sostenibilidad, Políticas de responsabilidad social, Cohesión organizacional

Fase 7, basado en los **CC** y todos los elementos homologados, se muestra en la **Tabla 13** un diseño preliminar del **Modelo GEBS**. El MGE para la bioenergía implica analizar el contexto y tomar decisiones estratégicas para definir desafíos y el propósito. Se recomienda la adaptación de **CIPP** (Birgili & Kirkic, 2021) para formular e implementar el proceso a lo largo del ciclo de vida de la bioenergía, aplicando **LCA** como lo indica el IPCC, de modo que la producción y utilización de bioenergía sea eficiente y sostenible (IPCC, 2006).

Fase 8: Se integra el modelo GES con la ingeniería de procesos y la ingeniería industrial aplicando **Economía Circular (EC)**, implementando procesos circulares (ver **Figura 18**).

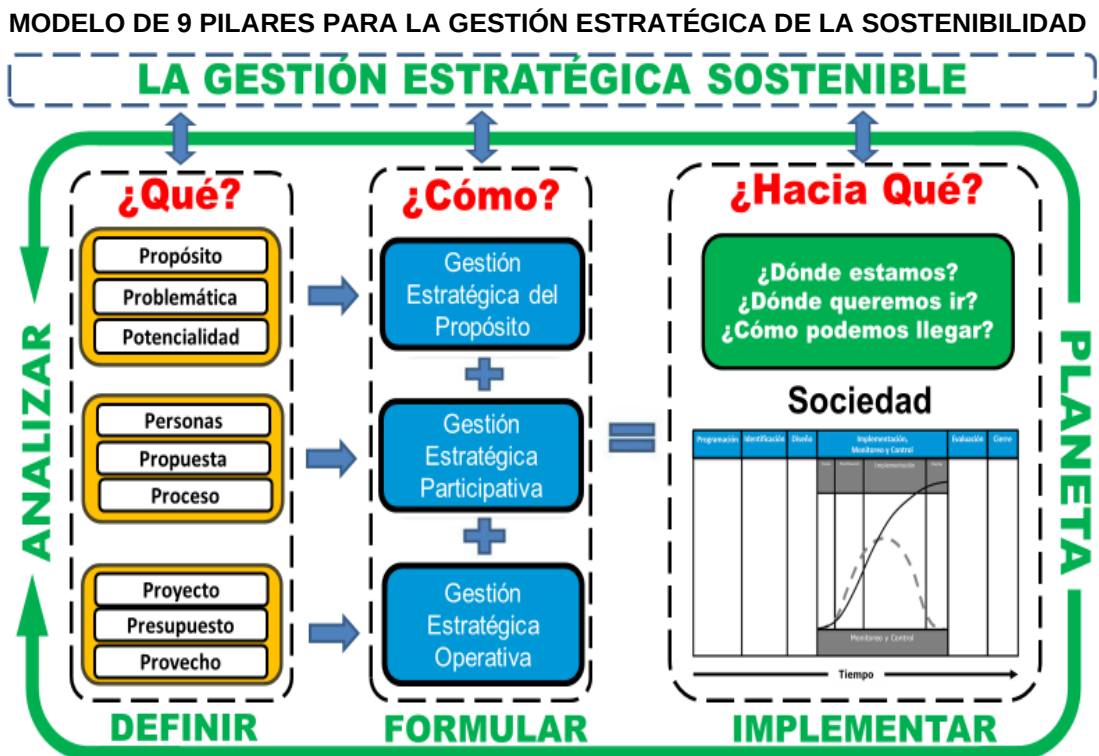
Fase 9: Se integra y aplica la ingeniería de procesos sostenibles integrando **ToC** (Theory of Constraints) y **Economía Circular**, desarrollado en los capítulos IV y V.

Fase 10: El sistema se valida aplicando el caso de la Amazonía, utilizando juicios de expertos, **Cadenas de Márkov** y flujos de valor y beneficios proyectados a 10 años, como se describe en los capítulos VI y VII-

4.3. MODELO 9PGESP:

El Modelo de Gestión Estratégica de la Sostenibilidad de Procesos (Figura 21) tiene como objetivo principal hacer que el uso y consumo de bioenergía sean sostenibles para el planeta. Este modelo integra los principios de la **Economía Circular (EC)**, la **Teoría de Restricciones (ToC)** y **Lean**, implementando estrategias donde los impactos negativos (desperdicios, residuos y emisiones) se transforman en positivos, en lugar de solo minimizarlos. De esta manera, se crea un entorno más sostenible para todos los seres humanos, contribuyendo al combate del calentamiento global con cada unidad de bioenergía consumida (Wan et al., 2022; Ajripour & Hanne, 2023).

FIGURA 21:



Adaptado de Hill & Jones (2012) y CIPP de Birgili & Kirkic (2021)

Descripción del Modelo:

Es crucial que el modelo 9PGESP Analiza y define claramente los 9 Pilares del desafío a abordar (Figura 21). Esto permite gestionar el proceso de manera efectiva, considerando el contexto y asegurando la participación de todos los actores involucrados para ejecutar las acciones necesarias y lograr los resultados deseados (Balezantis & Balezantis, 2011). El modelo 9PGESP se estructura en cuatro Componentes Clave (CC):

Componentes Clave de un Modelo 9PGESP

1. **Análisis** del Contexto y Controlar los Resultados.
2. **Definir** los 9 Pilares del Desafío y Objetivos, agrupados en los tres niveles claves.
3. **Formular** las Estrategias integradas y enfocadas a los tres niveles claves: Gestión del Propósito, Gestión Participativa y Gestión Operativa.
4. **Implementar** el Uso y Consumo Sostenible de Biocombustibles en la Sociedad.

En total, el modelo consta de ocho elementos clave agrupados en cuatro CC, que integran diversas herramientas, metodologías e instrumentos de gestión para alcanzar los resultados esperados (Victor & Agamuthu, 2013).

Bajo el Título “Strategic Sustainable Manage Model, Applying Circular Economy Rate Operating Process: Case Renewable Energy)” se publicó artículo en LACCEI 2024, donde se explica y desarrolla esta opción (Anexo 1)

Aporte Diferencial del M9PGESP:

El **M9PGESP** se destaca por su enfoque integral, que combina las ciencias naturales y sociales en la gestión estratégica de la bioenergía sostenible. Muchos modelos de gestión estratégica no consideran adecuadamente las ciencias naturales dentro del análisis de las ciencias sociales y la gestión, lo que sesga sus decisiones y limita su efectividad. El M9PGESP ofrece un criterio claro para medir el impacto ambiental: por cada kilogramo de **Huella de Carbono (HC)** generado, se compensa produciendo un kilogramo de **Materia Viva Consumida (MVC)**, es decir, **HC = MVC**. Este enfoque se centra en generar un impacto positivo con cada unidad de bioenergía producida o consumida (Nunes et al., 2024; Sumarsono et al., 2023)

4.4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS CLAVES:

$$HC = MV$$

Una tonelada de HC (CO₂) emitido se compensa produciendo una tonelada de **MV** (Materia Viva). Este proceso es clave porque absorbe hasta **6,500 kWh** de energía solar, contribuyendo a enfriar el planeta, generando **760 kg de O₂** y purificando **910 kg de agua**, para fijar **270 kg de carbono**. La huella de carbono de la biomasa por producción y consumo es de **190 kg de CO₂**, lo que equivale a una emisión térmica de aproximadamente **472.8 kWh**. Este valor se resta de los **6,500 kWh** absorbidos, resultando en un saldo positivo energético de aproximadamente **6,027.2 kWh** por

cada tonelada de materia viva producida y consumida (IPCC, 2006; Schaefer et al., 2024).

Los procesos de fotosíntesis y digestión anaeróbica son biológicos y altamente eficientes en términos energéticos, aprovechados por el M9PGESP. Estos no solo secuestran carbono, sino que también requieren una cantidad significativa de energía (Rubio-Mozos et al., 2020; Schaefer et al., 2021). La integración de las ciencias naturales con los principios de la **Economía Circular (EC)** es clave para potenciar el modelo. La EC promueve la reutilización y el reciclaje de recursos, minimizando residuos y optimizando la producción energética (Victor & Agamuthu, 2013; Diskiene et al., 2008). El modelo no solo busca equilibrar objetivos económicos, ambientales y sociales, sino también generar un saldo de impactos siempre positivo.

TABLA 14: PROCESO DE CONVERSIÓN DE CO₂ A BIOMASA

Entradas	Proceso	Salida
CO ₂ : 1 kg	Fotosíntesis	CH ₂ O (1 kg Biomasa)
	Conversión a CH ₂ O (Biomasa)	Energía hasta - 6.5 kWh absorbida (23,402.05 kJ)
6.5 kWh	Disociación de CO ₂	O ₂ emitido (0.73 kg)
		Energía: - 2.48 kWh absorbida (8,930.45 kJ)
H ₂ O: 0.91 kg	Hidrólisis del Agua	C (0.27 kg)
		H ₂ (0.054 kg) + O ₂ (0.856 kg)
		Energía: 4.02 kWh absorbida (14,471.6 kJ)
	Conversión a Biomasa	CH ₂ O (1 kg Biomasa), hasta 6.5 kWh de energía absorbida (23,402.05 kJ) por kg de biomasa producida

Fuente: Felder & Rousseau (2005); Smith et al. (2005); Atkins & de Paula (2010); McQuarrie & Simon (1997); Halliday et al. (2014); IPCC (2006); MDPI (2024); Ravilious (2020).

4.4.1 EL PROCESO DE CONVERSIÓN DE CO₂ A BIOMASA

Consta de cuatro fases (IPCC, 2006; Halliday et al 2014):

1. Fotosíntesis: 1 kg de CO₂ se fija en la planta, absorbiendo hasta 6.5 kWh de energía solar y liberando 0.73 kg de oxígeno.
2. Disociación de CO₂: De 1 kg de CO₂, se disocian 0.27 kg de carbono y 0.73 kg de oxígeno, utilizando 2.48 kWh de energía.
3. Hidrólisis del Agua: Se absorben hasta 4.02 kWh de energía solar para hidrolizar 0.91 kg de H₂O, liberando 0.856 kg de oxígeno.

4. Formación de Biomasa (CH_2O): El carbono y el hidrógeno del agua se combinan para formar biomasa (CH_2O).

La clave es conocer y entender el impacto de la conversión HC ($\text{CO}_2 + 6.5\text{Kwh}$ de energía) a MVC (biomasa), para gestionar estratégicamente ese proceso endotérmico de absorción de energía (secuestro) térmica y carbono, para aplicarlo a mitiga el calentamiento global (enfría) y contribuyendo, hacer un planeta más sostenible.

4.4.2 MARCO CONCEPTUAL DEL M9PGESP:

Economía Circular y Triple Resultado: Estos principios promueven la reutilización y reciclaje de recursos, minimizando residuos y optimizando la producción energética (Rubio-Mozos et al., 2020; Schaefer et al., 2021).

Políticas y Gobernanza: Enfatizan la necesidad de políticas públicas y marcos regulatorios que incentiven la adopción de bioenergía sostenible (Babatunde et al., 2021; Rincón-Moreno et al., 2022).

Fuentes y Contexto de Consumo: Analizan fuentes de biomasa y su integración en contextos locales e industriales (Sumarsono et al., 2023; Nunes et al., 2024).

Elementos Clave de los M9PGESP:

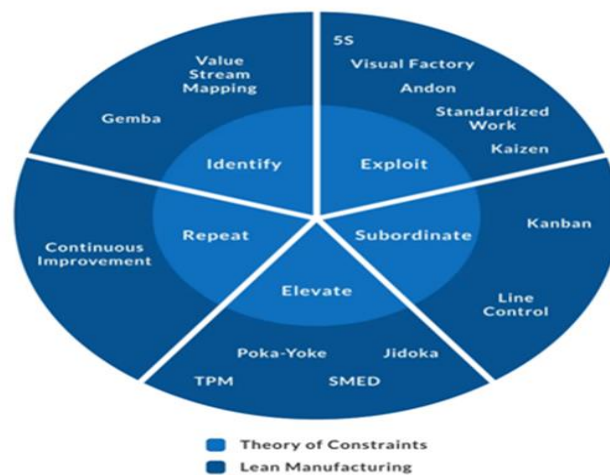
El modelo se estructura alrededor de 8 componentes interrelacionados que aplican los principios de sostenibilidad, eficiencia y gestión estratégica. Estos componentes son fundamentales para asegurar que la generación de bioenergía sea económicamente viable y ambiental y socialmente responsable.

1. **Recuperación de Fuentes Renovables de Materia Viva:** La biomasa secuestra carbono y contribuye significativamente a la mitigación del cambio climático.
2. **Gestión Estratégica Sostenible:** El modelo propone eliminar los impactos negativos y convertirlos en positivos.
3. **Adaptación de la Teoría de las Restricciones (ToC):** La ToC se adapta para maximizar los beneficios marginales y optimizar el consumo de recursos.
4. **Integración de la Teoría de Restricciones Lean y Contabilidad ToC:** Se utiliza para maximizar el throughput y minimizar los impactos negativos.
5. **Modelo de Proceso de Negocio Sostenible y Circular:** Promueve la eficiencia y sostenibilidad en los procesos de negocio.
6. **Modelo EC para la Creación de Valor:** Maximiza la generación de valor y beneficios marginales.

7. **Modelo Circular de Procesos en la Economía:** Basado en la metodología de Forrester, permite entender la interacción entre los procesos naturales y económicos.
8. **Adaptación del Concepto de Cadenas de Márkov:** Evalúa la proyección de la productividad a lo largo del ciclo de vida, identificando la convergencia hacia procesos sostenibles.

4.4.3 INTEGRACIÓN TOC, LEAN

FIGURA 22:
INTEGRACIÓN TOC-LEAN: Obtenido de VORME 2022



ToC es una metodología qué:

- Comienza definiendo el Propósito (Fin) o Meta del sistema.
- Seguido de Identificar el factor crítico limitante (restricción), que impide alcanzarlos.
- Se mejora sistemáticamente esa restricción hasta que ya no sea el factor limitante.

En la manufactura, una restricción del sistema se llama cuello de botella. La Teoría de Restricciones adopta un enfoque científico para la mejora, ya que establece la posibilidad de que todo sistema complejo esté compuesto por múltiples actividades interrelacionadas, una de las cuales actúa como restricción para todo el sistema (el cuello de botella).

Según Goldratt y Fox (1986), para medir el desempeño de una organización en el logro de sus objetivos principales como el lucro, proponen dos conjuntos de métricas:

Medición Operacional

1. Beneficio Marginal (BM) o Throughput (T),
2. Inventario (I) de recursos entrantes, Consumo Marginal (CM) + Consumo Operativo (CO)
3. Rendimiento Operativo del Proceso (ROP)

Medición Financiera (Global)

1. Ingreso Neto (UN)
2. Retorno sobre la Inversión (ROI)
3. Flujo de Caja (CF)

Panizzolo (2016) afirmó que el uso de estos indicadores bajo un enfoque operacional puede usarse para medir el desempeño operativo de plantas en diferentes países. Por lo tanto, propone siete escalas de medición basadas en diferentes aspectos de la Teoría de Restricciones (TOC) para la producción:

Las 7 escalas de medición relacionadas con TOC

1. Metodología de tambor-buffer-cuerda
2. Gestión de Buffers de Tiempo
3. MRP para horarios optimizados
4. Movimiento de materiales con lotes de transferencia más pequeños que los lotes de producción
5. Programación maestra optimizada para el recurso de restricción
6. Recursos no restringidos con capacidad excedente
7. Programación hacia adelante y hacia atrás

Como Panizzolo, creemos que para medir el impacto de las prácticas de TOC en el rendimiento de la planta, este estudio emplea cinco indicadores, como sigue:

Dimensiones del Rendimiento de Manufactura

1. Costo Unitario de Producción
2. Cumplimiento de plazos
3. Tiempo de entrega
4. Nivel de Inventario
5. Tiempo de ciclo

Este conjunto de valores, denominado Dimensiones, se ha utilizado en el Análisis de la bioenergía de una hectárea de bosque de la amazonia del Perú en la Región Ucayali. Donde la cantidad más del 81% de un árbol en la producción de maderera son desechos y donde la recuperación de biomasa y residuos de madera de los bosques de producción de la localidad, sería una fuente de energías, la mejorar

manera es un manejo apropiado del bosque, sería sin talar. La medición operativa responde precisamente a los indicadores propuestos por Panizzolo; además, el uso de estos indicadores se detalla en Figura 22:

4.4.4 ECONOMÍA CIRCULAR Y DESARROLLO DE LOS CAPITALES EN LA ECONOMÍA

La FIGURA 19 ilustra la creación y desarrollo de capitales en la economía, subrayando la importancia de la competitividad y diferenciando entre crecimiento y desarrollo en la dimensión macroeconómica. Este modelo muestra cómo se desarrollan y gestionan los capitales humanos, naturales y económicos, destacando el papel crucial de la competitividad en la optimización de recursos y en la mejora de las capacidades organizacionales y las ventas.

Creación de Valor y Capitales Aplicando Indicadores TOC y EC

En el estudio caso estudios los indicadores de ROP de la FIGURA 16, Lu-Chang-Say 2023- De este modo, se elimina el sesgo de productividad generado por recursos cuyo precio tiende a cero en el mercado. Es fundamental incluir el trabajo y la energía, o la equivalencia de huella de carbono, para calcular adecuadamente la contribución del planeta.

Así, se aplica la PTF calculando el ROP y elaborando una tabla para el Planeta, Personas, Procesos y Provecho. Después de analizar los indicadores TOC, se observa que el consumo de recursos está determinado por el nivel de calidad requerido, lo que establece un nivel de consumo marginal necesario por unidad de producto. Para obtener los mismos beneficios mecánicos (throughput) por unidad de producto, es esencial invertir una unidad de consumo marginal adicional.

Desde una perspectiva sistémica, el mismo consumo marginal puede generar múltiples beneficios marginales a lo largo de la cadena de suministro, entre la naturaleza y los consumidores.

4.5. ELEMENTOS ESTÁNDAR PARA LOS MGEPS

- **Checkland** metodología de sistema blandos, para identificar los actores y grupos de interés con sus diversas cosmovisiones, las potencialidades y limitaciones ambientales, así como las situaciones estructuras y no estructuras que interactúan en el sistema en estudio. Checkland. (1993). Pensamiento sistémico de Checkland y (2010). Soft systems methodology. In Systems approaches to managing change: A practical guide.

- **Prospectiva**, para definir y estratégicamente planear, cómo lograr hacer realidad una visión y escenario futuro deseables conferencia de Indacochea sobre prospectiva estratégica el 2019.
- **Marco Lógico**, para definir los Propósitos, resultados y Medidas de los impactos, de la Visión, Misión, Objetivo general y Objetivos específicos, según manual de proyectos BID del 2004.
- **Balance Score Card (BSC)**, para formular planes estratégicos de desarrollo de los bosques, definiendo los objetivos, metas, acciones y estrategias para balanceando la menos las perspectivas interna y externa de personas, planeta, procesos y provecho, así como definir los indicadores de resultados. Aplicando los principios propuesto por Kaplan, R. y Norton, D. en 1996
- **Quality Function Deployment (QFD)** para diseñar, definir y evaluar los requerimientos de técnicos de los procesos de la cadena de suministro e intercambios de valor entre el bosque y la sociedad, maximizando al alza el valor adaptado a los propuesto por Lu-Chang-Say, aplicando los principios de la Casa de la Calidad (CC), que apareció en 1972 en el diseño de un petrolero por Mitsubishi Heavy Industries. Akao ha reiterado en numerosas ocasiones que CC o QFD, es solo un ejemplo de una herramienta, para conectar las necesidades del mercado, con las ofertas y propuesta técnicas estratégicas.
- **Filosofía y Métodos del TPS**, Lean y Teoría de restricciones en la gestión de los procesos y flujos de la creación de valor. Aplicación propuesta por Lu-Chang-Say et al, en el artículo "COMPETITIVIDAD EN NEGOCIOS, El Proceso de Superarse en Evolucionar, Desarrollar e Innovar y lo investigado en la tesis de Maestría de Lu-Chang-Say (2022). "Modelo Estratégico de Negocio Socioeconómico de Referencia, para Incrementar la Competitividad en Desarrollando Sosteniblemente la Amazonía Negocios. Una evolución y perspectiva, que Porter 1990, su libro La Ventaja Competitiva de las Naciones Porter, define que la **Competitividad** a nivel de naciones, es la capacidad de las naciones, para crear valor y beneficios para sus ciudadanos. Mas que simplemente la capacidad superar a los competidores dentro de una Industria.

TABLA 15: MATRIZ DE CONSISTENCIA

"Ingeniería para Procesos en Ideas Sostenibles"					
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETO DE INVESTIGACIÓN	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Problemas General	Objetivos General	Hipótesis General:	Independiente		
¿Qué efectos de la ingeniería se deben valorar, para mejorar significativamente la actuación y efectividad, de los procesos en ideas sostenibles?	Valorar los efectos de la ingeniería, para mejorar significativamente la actuación y efectividad, de los procesos en ideas sostenibles	Si se valoran los efectos de la ingeniería, entonces se mejora significativamente la actuación y efectividad, de los procesos en ideas sostenibles	ingeniería	ingeniería	Indice de Rendimiento Marginal Operativo del Proceso = $ROP = BM / CM = PBI/HCPBI$
Problemas Específicos	Objetivos Específicos:	Hipótesis Específicas:	Dependiente	Procesos	
¿Qué es necesario cuantificar y entender de la ingeniería, para planificar innovaciones y desarrollos, que incrementen significativamente la competitividad, de los procesos en ideas sostenibles?	Cuantificar y entender los efectos de la ingeniería, para planificar innovaciones y desarrollos, que incrementen significativamente la competitividad, de los procesos en ideas sostenibles	Si se cuantifica y entiende la ingeniería, para planificar innovaciones y desarrollos, entonces se incrementa significativamente la competitividad, de los procesos en ideas sostenibles	Procesos en Ideas Sostenibles	Competitividad en Innovaciones y Desarrollos	Indice de competitividad del WEF Indice de desarrollo Humano ONU
¿Qué es necesario cuantificar y entender de la ingeniería, para planificar emprendimientos, que incrementen significativamente la competitividad, de los procesos en ideas sostenibles?	Cuantificar y entender los efectos de la ingeniería, para planificar emprendimientos, que incrementen significativamente la competitividad, de los procesos en ideas sostenibles	Si se cuantifica y entiende la ingeniería en la planificación de emprendimientos, entonces se incrementa significativamente la competitividad, de los procesos en ideas sostenibles		Competitividad en Emprendimientos	Indice ODS IPCC, directivas e informes de Huella de Carbono HC (Huella de Carbono) = MVC (Materia Viva Consumida y/o Energía Liberada) = $(Cpa + Cpe + Cpo + Cpr)$
¿Qué es necesario cuantificar y entender de la ingeniería, para planificar actuaciones sociales sostenibles, que incrementen significativamente la competitividad, de los procesos en ideas sostenibles?	Cuantificar y entender los efectos de la ingeniería, para planificar actuaciones sociales sostenibles, que incrementen significativamente la competitividad, de los procesos en ideas sostenibles	Si se cuantifica y entiende la Ingeniería, para planificar actuaciones sociales sostenibles, entonces se incrementa significativamente la competitividad, de los procesos en ideas sostenibles		Competitividad en Actuaciones Sociales Sostenibles	$PBI = Beneficios Marginales = Planeta (Pa) + Personas (Pe) + Procesos (Po) + Producto (Pr)$

CAPÍTULO V

DESARROLLO DEL TRABAJO DE TESIS

En el capítulo IV se presentó el **Modelo de los 9 Pilares para la Gestión Estratégica de Procesos Sostenibles (9PGEPS)**, que articula tres dimensiones clave: Procesos Estratégicos, Participativos y Operativos. Este modelo aborda los desafíos de la sostenibilidad y genera valor económico, social y ambiental. Su enfoque busca maximizar el impacto positivo promoviendo la sinergia entre la sociedad y la naturaleza, en línea con los principios de la **Economía Circular** y la **Teoría de Restricciones** (Goldratt, 1990).

El 9PGEPS establece la sostenibilidad como un eje transversal en la planificación y operación de los procesos productivos y sociales. Los **Procesos Estratégicos** se enfocan en la creación de estrategias a largo plazo basadas en una evaluación contextual profunda y objetivos claros (Figura 16). Los **Procesos Participativos** fomentan la inclusión de todas las partes interesadas, promoviendo una toma de decisiones democrática. Los **Procesos Operativos**, por su parte, implementan acciones concretas para alcanzar los objetivos planteados, aplicando principios de eficiencia, mejora continua y optimización de recursos (Figura 13).

En esta tesis, se investigarán y validarán estos procesos utilizando los conceptos y métodos detallados en el punto 5.2, mediante un enfoque basado en la **Ingeniería de IDEAS Sostenibles**, que permitirá cuantificar el impacto de cada acción implementada (Figura 21).

El diseño de investigación evaluará la interacción de las dimensiones estratégicas, participativas y operativas con los procesos de sostenibilidad en la región amazónica, utilizando simulaciones estocásticas, modelado de procesos, cadenas de Márkov y proyecciones de flujo de valor (Figura 18). Además, se integrará un balance de **Materia – Energía – Materia Viva**, considerando la **Huella de Carbono**, lo que permitirá validar las hipótesis y proyectar resultados a largo plazo (Lazarus, 2018).

En el punto 5.1, se define la variable dependiente, que medirá la **competitividad socioeconómica** de los procesos sostenibles aplicados en la Amazonía

5.1. LA VARIABLE DEPENDIENTE

La variable dependiente es el **nivel de competitividad socioeconómica** de los procesos de IDEAS sostenibles en la Amazonía peruana. La Amazonía, además de ser un ecosistema vital, actúa como una "fábrica de biomasa" altamente eficiente, capaz de absorber carbono y transformar el aire y el agua a través de la fotosíntesis. Este proceso convierte aproximadamente un kilogramo de carbono en biomasa, utilizando 6.5 kWh de energía por cada kilogramo generado (Lu-Chang-Say, 2022) (Figura 2).

El desafío es crear una **cadena de suministro de doble vía** entre la sociedad y la naturaleza, siguiendo los principios de la Economía Circular. Este modelo promueve el uso eficiente de los recursos naturales, devolviendo valor al ecosistema para potenciarlo y desarrollarlo. Así, todo consumo de recursos debe formar parte de un ciclo que maximice los impactos positivos, generando beneficios para la sociedad y el ecosistema (Lu-Chang-Say, 2022) (Figura 18 y Figura 14).

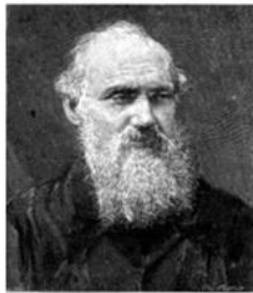
Para medir esta variable dependiente, se emplearán indicadores como el **ROP (Rendimiento Operativo de los Procesos)** y modelos de creación de valor y generación de capitales. Estos indicadores evaluarán la eficiencia en el uso de los recursos y cómo los procesos de IDEAS sostenibles transforman el consumo en valor económico y social (Figura 21). Además, se analizarán factores como la **generación de empleo**, el **valor agregado** en las cadenas productivas y la **reducción de impactos ambientales**, buscando transformar el consumo en un ciclo continuo de beneficio para los recursos de la Amazonía (Figura 19 y Figura 11).

5.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de este estudio sigue un Plan de Investigación basado en el método científico, aplicado a la **Ingeniería de Procesos de IDEAS Sostenibles**. Todo debe ser cuantificable y replicable bajo las mismas condiciones experimentales, independientemente del operador. Los métodos de ingeniería se estructuran para asegurar esta replicabilidad, siempre que las condiciones del diseño se mantengan constantes. Como señaló Lord Kelvin: "Para cuantificar, primero es necesario definir con claridad y precisión el fenómeno a estudiar". Esta premisa es fundamental en cualquier investigación científica, como se destaca en la **Figura 23: ¿Por qué Definir**

y **Contar?**, subrayando la importancia de la precisión en las definiciones y mediciones para garantizar la validez del proceso científico.

FIGURA 1:
¿POR QUÉ DEFINIR Y CONTAR?



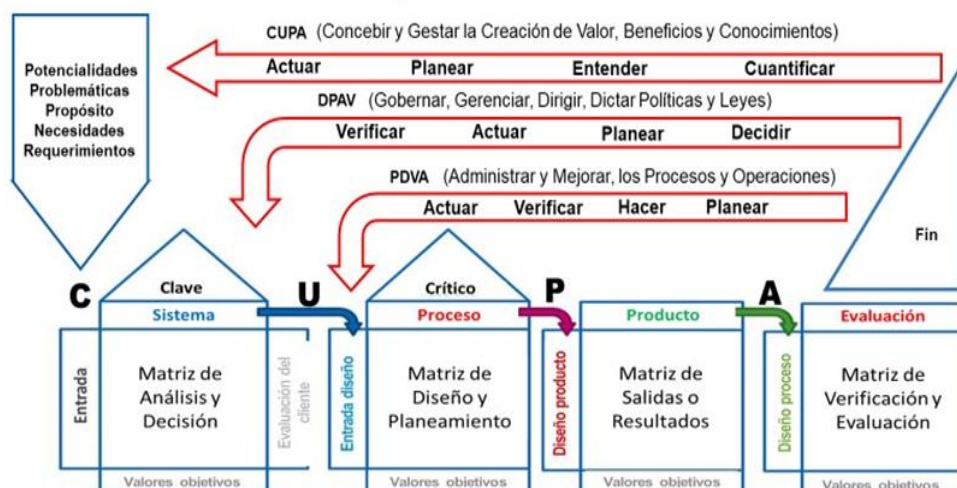
William Thomson,
Lord Kelvin (Primer barón de Kelvin)
Belfast, 26 de junio de 1824
Netherhall, cerca de Largs,
Escocia, 17 de diciembre de 1907
Físico matemático británico

¿PORQUÉ DEFINIR Y CONTAR?

- *Lo que no se define, no se puede medir.*
- *Lo que no se mide, no se puede mejorar.*
- *Lo que no se mejora, se degrada siempre.*

FIGURA 24:
CEPA QFD PARA INVESTIGAR, CONCEBIR, GESTAR Y MEJORAR LA CAZA DE VALOR Y BENEFICIOS

CEPA QFD para Gestionar el Proceso, que Maximiza la Caza de Valor y Beneficios Sostenibles



Fuente: Hauser y Claug Ing. (1988)
Elaboración Propia

El ciclo **PHVA** (**Planificar, Hacer, Verificar, Actuar**), propuesto por W. Edwards Deming (1982), es esencial en la mejora de la gestión de la calidad. Sin embargo, en

proyectos de investigación, a menudo no se cuentan con definiciones claras de los resultados esperados. Para abordar esta incertidumbre, se propone el ciclo **CEPA (Cuantificar, Entender, Planificar y Actuar)**, combinado con el **QFD** (Casa de la Calidad), como se ilustra en la **Figura 24**. Este enfoque permite capturar rigurosamente el valor al investigar, concebir y gestionar innovaciones y emprendimientos. Además, el ciclo CEPA proporciona retroalimentación continua, ajustando la planificación y ejecución a medida que se obtienen respuestas a las hipótesis planteadas.

5.3. UNIDAD DE ANÁLISIS

La **unidad de análisis** de este estudio es una **hectárea típica de bosque amazónico natural**, perteneciente a una **comunidad nativa** en la región de Ucayali, Perú. El análisis se proyecta sobre la base de una **intervención de un mes por hectárea**, dentro de un **ciclo de explotación de 2 años**. El enfoque de investigación examina los procesos de **IDEAS Sostenibles** que se implementarán en este contexto, evaluando su capacidad para generar beneficios económicos, sociales y ambientales de manera sostenible. Asimismo, se gestionan de manera responsable los **recursos naturales disponibles** en la hectárea típica, considerando las dinámicas sociales y culturales específicas de la comunidad nativa

5.3.1. PROPUESTA DE SOLUCIÓN:

La Ingeniería del Procesos de IDEAS Sostenibles, integra y aplica una serie de modelos y herramientas que permiten concebir, gestar y mejorar procesos sostenibles de manera efectiva. Esta propuesta articula tres modelos de referencia clave:

1. El **Modelo de Economía Circular (EC)**, basado en la dinámica del sistema ambiental (Figura 18).
2. El **Modelo de Creación de Valor en las Organizaciones** (Figura 15).
3. El **Ciclo de Creación de Valor y Capitales en la Economía** (Figura 19).

Estos tres modelos se integran con los **Indicadores ROP** (Figura 16) y el **ciclo completo de la huella de carbono** (Figura 2), permitiendo una evaluación integral del impacto ambiental y la eficiencia de los procesos. Los **ciclos operativos para la gestión** (Figura 13) y el **Modelo de los 9 Pilares para la Gestión Estratégica de**

Procesos Sostenibles (M9PGEPS) (Figura 21) aseguran que los procesos se ejecuten con eficiencia y estén alineados con los principios de sostenibilidad.

Además de su capacidad para **simular** y **proyectar** resultados a futuro, estos indicadores también pueden **extrapolarse** con algunos ajustes a partir de **datos contables tradicionales**. Esto proporciona una flexibilidad importante, ya que permite combinar información financiera clásica con los análisis de sostenibilidad, logrando una visión más completa del desempeño del sistema.

Asimismo, estos modelos se adaptan a **Cadenas de Márkov** y a la **tabla de insumo-producto de Leóntiev**, lo que permite analizar, evaluar y proyectar decisiones estratégicas de diseño y actuación. El enfoque, utilizando el ciclo **DFIE** (Definir, Formular, Implementar y Evaluar) en combinación con el modelo **CEPA** (Cuantificar, Entender, Planear y Actuar), garantiza que las decisiones estratégicas estén fundamentadas en un análisis exhaustivo de los recursos y el entorno. Esto maximiza la capacidad de regeneración y sostenibilidad de la hectárea de bosque amazónico bajo estudio.

El enfoque considera la participación activa de los **stakeholders**, incluidos los miembros de la comunidad nativa (Freeman, 1984), asegurando la integración de sus conocimientos y prácticas culturales en la planificación y ejecución de las intervenciones. Esto no solo promueve la **sostenibilidad ambiental**, sino también la **cohesión social** y el respeto por las tradiciones locales

5.3.2. PROBLEMA EN INVESTIGACIÓN

Mejora de la Competitividad de los procesos en ideas sostenibles: A diferencia de las ciencias básicas, que se centran en la medición y observación de fenómenos, la ingeniería debe **dimensionar, diseñar e implementar** estrategias que no solo logren los resultados esperados, sino que aseguren una **actuación estratégica sostenible**. Esto implica integrar los principios de sostenibilidad en las dimensiones de **Planeta, Personas, Procesos y Provecho (4P's)**, permitiendo soluciones proactivas para los desafíos productivos y ambientales.

El problema de investigación se centra en **cómo mejorar la competitividad** de los **procesos de IDEAS Sostenibles** implementados en una hectárea de bosque amazónico en una comunidad nativa de **Ucayali, Perú**. El estudio busca identificar y analizar los factores clave que influyen en la sostenibilidad y el rendimiento del

sistema, y maximizar su eficiencia para generar un modelo replicable en otras regiones amazónicas.

Uno de los principales retos es **maximizar los beneficios marginales** generados por cada intervención. Este concepto implica que cada recurso invertido debe generar el mayor retorno posible en términos económicos, sociales y ambientales. Sin embargo, el enfoque va más allá de simplemente reducir desperdicios: se busca **transformar** estos impactos negativos en **resultados positivos**. Esto implica no solo aprovechar los recursos de manera eficiente, sino también devolver valor al ecosistema y potenciar su regeneración. La **naturaleza tiene una capacidad inherente de asimilar** ciertos desperdicios, y el sistema debe trabajar en conjunto con este proceso natural, asegurando que el ciclo de los recursos se mantenga en equilibrio (Lu-Chang-Say, 2023).

Transformación de Impactos Negativos en Positivos y Reducción de Entropías:

Más allá de reducir los desperdicios y minimizar los impactos negativos, la clave es **transformar estos impactos en positivos**. Por ejemplo, un residuo puede ser reutilizado dentro del sistema natural, devolviendo nutrientes al suelo o generando energía. La naturaleza tiene una capacidad regenerativa, y los procesos sostenibles deben trabajar en sinergia con esta capacidad para **revertir los efectos negativos**. El objetivo no es solo reducir los daños, sino convertir los **residuos en recursos** que impulsen la sostenibilidad del ecosistema.

En este contexto, la **entropía** representa el desorden o pérdida de energía en el sistema. Si no se gestiona correctamente, puede generar ineficiencia y comprometer la sostenibilidad. El estudio propone **gestionar y reducir la entropía** mediante la optimización de procesos, garantizando que los recursos se utilicen eficientemente, y transformando cualquier pérdida en un activo para el sistema. Esto se apoya en modelos como el **ciclo completo de la huella de carbono** (Figura 2) y los **Indicadores de Rendimiento Operativo (ROP)** (Figura 16), que ayudan a medir y gestionar el impacto ambiental, asegurando que el sistema no solo sea sostenible, sino que aporte al bienestar del ecosistema.

Evaluación y Proyección mediante el Análisis Exergético: El análisis exergético se utiliza para evaluar la **eficiencia energética** y el rendimiento del sistema a lo largo del tiempo. A través de este análisis, se puede proyectar cómo evolucionará el sistema en términos de **producción de energía útil**, permitiendo identificar los

puntos críticos donde se generan pérdidas y transformarlas en oportunidades para optimizar el proceso. Esta evaluación también permite simular escenarios futuros, proyectando el rendimiento del sistema a lo largo de un ciclo de explotación de dos años en la hectárea de bosque amazónico.

El análisis exergético proporciona una base sólida para hacer **ajustes estratégicos** que mejoren tanto la **eficiencia del uso de los recursos** como la **reducción del impacto ambiental**. Esto asegura que el sistema no solo mantenga un balance entre el uso y regeneración de recursos naturales, sino que también impulse **resultados positivos** tanto para la sociedad como para el ecosistema.

Participación de los Stakeholders y Gestión de la Incertidumbre: El **Proceso Participativo** es esencial para lograr la sostenibilidad de los sistemas. Involucrar a todos los stakeholders, desde las comunidades locales hasta los actores gubernamentales y privados, garantiza que las soluciones implementadas estén alineadas con las necesidades y capacidades locales, y que se enfoquen en maximizar los beneficios sociales y ambientales. Además, es crucial **gestionar la incertidumbre**, no solo reaccionando ante los problemas cuando ocurren, sino **anticipándose a ellos**, lo que permite mantener el sistema dentro de límites controlados y predecibles.

Al asegurar la **intervención temprana** en los factores clave, es posible **maximizar los beneficios marginales** y convertir los impactos negativos en positivos, generando un sistema resiliente que contribuya al desarrollo socioeconómico sostenible.

El desafío de esta investigación: El problema de investigación se centra en **cómo gestionar estratégicamente** los factores clave para **maximizar los beneficios marginales, convertir los impactos negativos en positivos, y mantener la competitividad y sostenibilidad** del sistema a largo plazo. El uso del **análisis exergético** y la proyección basada en el **balance materia – energía – materia viva de la huella de carbono** permitirá no solo mitigar el impacto ambiental, sino también generar un **impacto positivo** en la región amazónica, contribuyendo a la regeneración del ecosistema y al bienestar socioeconómico de las comunidades involucradas.

5.3.3. PERIODO DE ANÁLISIS

Se presenta a continuación el cronograma del Plan de Investigación, el cual se desarrollará durante un periodo de 4 meses, con una planificación semanal para cada actividad:

Plan de Investigación																	
	Mes	1				2				3				4			
	Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Formulación del Plan Investigación																
2	Investigación Bibliográfica fuente Primarias																
3	Investigación fuente secundarias y terciarias																
4	Análisis																
5	El Informe de Investigación I																
6	Despliegue de la Investigación																

5.3.4. FUENTES DE INFORMACIÓN E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

La principal técnica de recolección de información será la **observación directa**, utilizando los datos obtenidos como **línea base**. Los instrumentos de investigación incluirán **cuestionarios**, **fichas de registro** y el **juicio de expertos** para garantizar la precisión y relevancia de los datos.

Adicionalmente, se aplicarán **cadena de Márkov** y **tablas de insumo-producto** para modelar y analizar las interacciones entre las dimensiones de **Planeta**, **Personas**, **Procesos** y **Provecho**. Estas técnicas permitirán medir las transiciones y flujos de valor entre dichas dimensiones, proporcionando una visión integral del impacto de los procesos de **IDEAS Sostenibles**.

También se desarrollarán **escenarios** basados en los datos observados, con proyecciones de **flujos de valor y beneficios futuros**. Estas simulaciones permitirán anticipar los efectos de las decisiones estratégicas, maximizando los beneficios y

optimizando los resultados. Además, ayudarán a identificar riesgos y ajustar las acciones para garantizar la sostenibilidad de los flujos de valor en las cuatro dimensiones clave

5.3.5. TÉCNICAS O PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Para el procesamiento de datos se utilizarán herramientas estadísticas como **SPSS**, **Minitab**, **Matlab** o **Excel**, que permitirán realizar análisis cuantitativos rigurosos.

El estudio se basa en un **Plan de Investigación** desarrollado según el método científico y con un enfoque cuantitativo. Es una investigación de tipo **explicativo**, de **nivel cuasiexperimental** y con un **corte longitudinal** (pre y post-test). Este diseño permitirá evaluar los efectos antes y después de la manipulación de la variable dependiente, midiendo los resultados en términos de **competitividad**, que impactan en las dimensiones de **Planeta, Personas, Procesos y Provecho**

5.4. DEFINICIONES CONCEPTUALES Y OPERATIVAS DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE: INGENIERÍA

5.4.1. DEFINICIONES CONCEPTUALES

La Ingeniería se refiere al conjunto de metodologías y técnicas aplicadas para optimizar, innovar y desarrollar los procesos de producción, mejorar emprendimientos y la actuación. En este estudio, se aplica específicamente al contexto de los Procesos de IDEAS Sostenibles, donde **IDEAS** es el acrónimo de Innovar, Desarrollar y Empezar para Actuar Social.

Según Saiz Segarra (2005), en su tesis doctoral sobre innovación tecnológica en ingeniería industrial, una fase clave en el Proceso de Innovación es generar el máximo número de ideas potencialmente innovadoras, ya que solo a través de el Análisis de muchas ideas se pueden identificar aquellas que son viables y efectivas. En este contexto, la Ingeniería busca cuantificar, analizar y evaluar diferentes propuestas hasta entender cómo planificar acciones que generen beneficios tanto para la sociedad como para la naturaleza, trabajando en sinergia para el desarrollo sostenible. [Ver Figura 27].

5.4.2. DEFINICIONES OPERATIVAS

La **Ingeniería para Procesos de Ideas Sostenibles** se aplica directamente en el campo para lograr resultados clave en el **ciclo de suministro** entre la naturaleza y la sociedad (ver Figura 27). El proceso comienza con la **definición y cuantificación** de las necesidades y limitaciones tanto de la sociedad como de la naturaleza, lo que permite identificar las **potencialidades y oportunidades** existentes. A partir de esto, se generan hipótesis que son investigadas y validadas para comprender mejor las situaciones y poder planificar las actuaciones necesarias.

El objetivo de este enfoque es implementar y validar diversas **IDEAS Sostenibles** que beneficien a todos los involucrados en la propuesta de valor. El éxito de estas intervenciones depende de la **competitividad** de las personas y organizaciones implicadas, quienes deben ser capaces de optimizar los recursos del planeta de manera eficiente y sostenible. Este proceso implica la capacidad de **concebir, gestar y mejorar** productos, servicios y emprendimientos en armonía con el medio ambiente.

Además, es esencial que se mantenga un **intercambio sostenible** y de **impacto positivo** entre la sociedad y la naturaleza. A través del análisis de resultados cuantificables, se validan las experiencias y se extraen lecciones para generar mejoras continuas. Estas acciones desembocan en emprendimientos y cambios que mejoran las condiciones socioeconómicas y ambientales.

La **competitividad** del Proceso de IDEAS Sostenibles está directamente influenciada por la **Ingeniería**, pero también está afectada por otros factores controlables que se mantienen constantes (**ceteris paribus**). Esto puede expresarse mediante la siguiente fórmula:

$$C_{IDEAS} = \alpha \cdot F(I)$$

Donde:

- **C_{IDEAS}** es la **competitividad** del proceso de IDEAS Sostenibles.
- **α** representa otros factores que permanecen constantes (*ceteris paribus*), como condiciones del mercado o políticas externas.
- **F(I)** describe el impacto de la **Ingeniería** en la competitividad del proceso.

Esta fórmula refleja cómo los cambios en la **Ingeniería** afectan la competitividad del proceso, ajustada por otros factores que, aunque no son directamente manipulados, pueden influir en los resultados obtenidos.

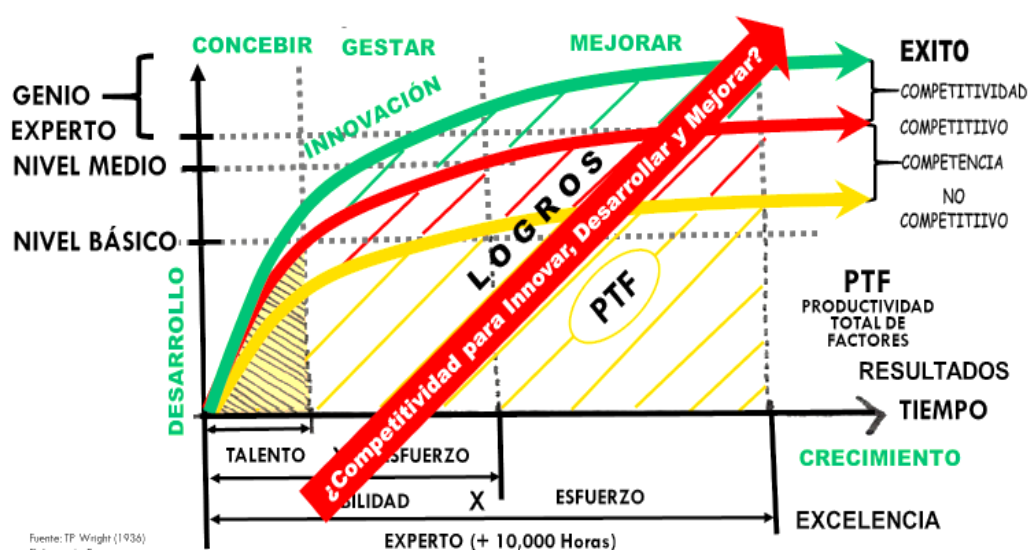
5.5. DEFINICIONES CONCEPTUALES Y OPERATIVAS DE LA VARIABLE DEPENDIENTE: COMPETITIVIDAD

5.5.1. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Kao John y Sahin I. definen la **Competitividad** como “la capacidad de crear bienestar, junto con la capacidad relativa de una nación para crear y mantener un entorno en el que las empresas puedan competir, de manera que el nivel de prosperidad pueda mejorar”. Aunque la **competitividad** a menudo se confunde con **competencia** y **productividad**, son conceptos diferentes que interactúan a diversos niveles.

Como se ilustra en la **Figura 24**, la **competitividad** se presenta como una curva que impulsa el desarrollo de las capacidades individuales o empresariales. La **competencia** actúa como una fuerza que motiva a mejorar, mientras que la **productividad** es el resultado del esfuerzo competitivo. La interacción entre estas fuerzas genera una evolución constante de las capacidades y el desempeño en diferentes contextos.

FIGURA 25:
COMPETITIVIDAD Y COMPETENCIA



Fuente: TP Wright (1936)
Elaboración Propia

Tradicionalmente, la **competitividad** se ha visto como la capacidad para superar a los competidores en un entorno competitivo (ver **Figura 25**). Sin embargo, la **competencia** no solo se trata de ganar, sino de superar las propias limitaciones y desarrollar nuevas capacidades en las situaciones en que se compete.

En la **Figura 25**, se muestra cómo en una situación no competitiva, las capacidades permanecen sin desarrollarse, lo que resulta en un bajo desempeño. En contraste, en situaciones de competencia, se motiva a los actores a dar lo mejor de sí mismos. Aquellos con mayor competitividad logran un desempeño superior.

Cejudo (2006) propuso que la **competitividad** está más relacionada con la capacidad de transformar las ventajas naturales en **ventajas estratégicas** y aprovechar las **ventajas comparativas** para desarrollar **ventajas competitivas**. Asimismo, **Amartya Sen (1973)** planteó que la inequidad económica debe abordarse mediante el **Índice de Desarrollo Humano**, medida que posteriormente fue ampliada por **Miletzki y Broten (2017)** como una métrica para medir la libertad de desarrollo.

Por su parte, **Lu-Chang-Say (2018)** definió la **competitividad** como la capacidad de evolución, desarrollo y superación, destacando que no se trata solo de productividad o ventajas sobre los competidores, sino de acelerar la creación de valor dentro de la sociedad para todos los involucrados. La **competitividad** incluye la capacidad de mejorar continuamente en cuatro dimensiones clave:

1. **Planeta (Pa)**
2. **Personas (Pe)**
3. **Procesos (Po)**
4. **Provecho (Pr)**

5.5.2. DEFINICIONES OPERATIVAS

La **variable independiente**, la **Ingeniería**, y la **variable dependiente**, la **competitividad del Proceso de IDEAS Sostenibles**, se estructuran en una **Matriz Insumo-Producto** que abarca las cuatro dimensiones clave:

$$\mathbf{PBI=Pa+Pe+Po+Pr}$$

Donde:

- **PBI** = Producto Bruto Interno.
- **Pa** = Contribución del Planeta al PBI (medida por la huella de carbono según el **Ciclo de Energía y Biomasa**, ver **Figuras 2, 16 y 17**).
- **Pe** = Contribución de las Personas (sociedad) al PBI.
- **Po** = Contribución de los Procesos al PBI.
- **Pr** = Contribución del Provecho (beneficios) al PBI.

La **evaluación exergética** aplica la **contabilidad TOC** de **Goldratt (2004)** para maximizar el **Beneficio Marginal (BM)** en relación con el **Consumo Operativo Marginal (COM)**, optimizando los recursos del planeta.

La **competitividad** se mide mediante el **Rendimiento Operativo del Proceso (ROP)**, que se calcula de la siguiente manera

$$\text{ROP} = \text{BM} / \text{COM}$$

Donde:

- **BM** = Beneficio Marginal (valor tangible e intangible generado por los recursos consumidos).
- **COM** = Consumo Operativo Marginal (energía y recursos del planeta consumidos).

Cada una de las cuatro dimensiones —**Planeta, Personas, Procesos y Provecho**— contribuye a la competitividad a través de esta misma relación entre **beneficio** y **consumo**. Simulaciones de **Monte Carlo**, junto con el uso de **Tablas de Leóntiev** y **Cadenas de Márkov**, proyectan escenarios que permiten evaluar políticas públicas y estrategias que optimicen la competitividad, con base en el análisis de las **9 P's** del **Marco Lógico de la Ingeniería para Procesos de Ideas Sostenibles**:

5.5.3. INDICADORES DE COMPETITIVIDAD

El **Rendimiento Operativo del Proceso (ROP)** es el indicador clave para medir la competitividad en cualquier proceso productivo o de servicios. Se utiliza la misma fórmula presentada anteriormente.

$$\text{ROP} = \text{BM} / \text{COM}$$

Este indicador se puede aplicar a cada una de las cuatro dimensiones clave:

- **Competitividad_{Pa}** = Contribución del Planeta.
- **Competitividad_{Pe}** = Contribución de las Personas.
- **Competitividad_{Po}** = Contribución de los Procesos.
- **Competitividad_{Pr}** = Contribución del Provecho.

El **ROP** proporciona una medida clara de la **eficiencia** y **eficacia** en cada dimensión, lo que facilita un análisis integral de la competitividad en términos de sostenibilidad

5.6. HIPÓTESIS

Si se investiga y desarrolla la ingeniería de procesos, entonces en efecto se mejora significativamente la competitividad para actuar en la implementación de procesos con IDEAS (innovaciones y desarrollar, emprendimientos y actuación, social) sostenibles

5.6.1. HIPÓTESIS GENERAL

Si se valoran los efectos de la ingeniería, entonces se mejora significativamente la actuación y efectividad, en los procesos de ideas sostenibles, en la Amazonía del Perú.

5.6.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Si se cuantifica y entiende la ingeniería, para planificar innovaciones y desarrollos, entonces se mejora la competitividad, en los procesos de ideas sostenibles. tanto a nivel local como global
- Si se cuantifica y entiende la ingeniería en la planificación de emprendimientos, entonces se mejora la competitividad, en los procesos de ideas sostenibles, tanto a nivel local como global
- Si se cuantifica y entiende la Ingeniería, para planificar actuaciones sociales sostenibles, entonces se incrementa significativamente la competitividad. de los procesos en ideas sostenibles, tanto a nivel local como global.

5.7. VARIABLES EN INVESTIGACIÓN

- INGENIERÍA
- PROCESOS DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO, CON EMPRENDIMIENTOS Y ACTUACIONES, SOCIALES Y SOSTENIBLES (P.IDEAS.S)

5.7.1. VARIABLES INDEPENDIENTE

La **variable independiente** en este estudio es la **Ingeniería**, que se refiere a la aplicación de metodologías para optimizar la conversión de entradas en salidas, enfocándose en mejorar la competitividad y sostenibilidad dentro del **Proceso de IDEAS Sostenibles**.

Saiz Segarra (2005), en su tesis doctoral sobre innovación tecnológica, argumenta que la Ingeniería es crucial en las primeras fases del desarrollo de ideas, ya que permite **cuantificar, analizar y optimizar** las oportunidades de innovación. Esto impulsa la mejora continua en eficiencia, creación de valor y sostenibilidad.

La **Ingeniería** tiene un impacto directo en la competitividad a través de cuatro dimensiones clave:

1. **Planeta:** Optimización de los recursos naturales, minimización de la huella de carbono y regeneración del ecosistema (ver **Figura 19**).
2. **Personas:** Desarrollo de capacidades humanas para innovar, emprender y gestionar procesos de manera responsable (ver **Figura 11**).
3. **Procesos:** Mejora continua de los procesos operativos, incrementando la eficiencia y reduciendo desperdicios.
4. **Provecho:** Incremento en los beneficios obtenidos para la sociedad y el medio ambiente.

El **Marco Lógico de la Ingeniería para Procesos de Ideas Sostenibles** (ver **Figura 27**) articula cómo estas dimensiones están interrelacionadas y cómo la ingeniería optimiza cada aspecto para maximizar la competitividad y sostenibilidad. Esta estructura permite a los actores aprovechar al máximo los recursos disponibles, generar valor y mejorar su capacidad de respuesta ante los desafíos del entorno.

5.7.2. VARIABLE DEPENDIENTES

La **variable dependiente** es la **Competitividad del Proceso en la Cadena de Suministro de Doble Vía** entre la Naturaleza y la Sociedad, medida en términos de sostenibilidad y capacidad para generar valor en las dimensiones de **Planeta, Personas, Procesos y Provecho**.

Figura 26: Actuación Social Sostenible, Sinérgica y Responsable de la Sociedad con la Naturaleza.

Kao John y **Sahin I.** definen la competitividad como la "capacidad de crear bienestar junto con la capacidad de una nación para crear y mantener un entorno donde las empresas puedan competir, mejorando así el nivel de prosperidad". En este contexto, la **competitividad** no debe confundirse con la capacidad de vencer a los competidores en un entorno de rivalidad. Aquí, la competitividad se refiere a la capacidad de actuar, innovar y responder a los desafíos del entorno de manera efectiva y sostenible.

FIGURA 26:
LA ACTUACIÓN SOCIAL SOSTENIBLE, SINÉRGICA Y RESPONSABLE DE LA SOCIEDAD CON LA NATURALEZA



Competitividad vs. Competencia: La competitividad es la **capacidad de generar valor sostenible** dentro de una cadena de suministro, mientras que la competencia es el escenario donde se prueba dicha capacidad. A diferencia de la guerra, cuyo objetivo es derrotar al adversario, la **competencia en un marco de sostenibilidad** fomenta la mejora continua y la innovación, motivando a los actores a superar sus propias capacidades.

La competencia en sostenibilidad impulsa a personas y organizaciones a desarrollar **soluciones innovadoras** que equilibren los beneficios económicos, sociales y ambientales. Esto permite un uso más eficiente de los recursos, la reducción de impactos negativos y el fomento de capacidades para crear valor. No se trata de vencer a otros, sino de **empoderar** a los actores para que desarrollen sus habilidades de manera colaborativa y responsable.

Competitividad y Sostenibilidad: La competitividad en la cadena de suministro de doble vía se enfoca en generar valor a partir de interacciones sostenibles que benefician tanto al planeta como a las personas. Este proceso de retroalimentación positiva permite maximizar los beneficios en las siguientes dimensiones:

1. **Planeta:** Gestión eficiente de los recursos naturales, promoviendo la regeneración del ecosistema y minimizando la huella de carbono (ver **Figura 19**).
2. **Personas:** Desarrollo de capacidades para innovar y gestionar procesos, creando valor sostenible (ver **Figura 11**).
3. **Procesos:** Mejora continua en la eficiencia productiva, reduciendo desperdicios y optimizando el uso de recursos.
4. **Provecho:** Generación de beneficios tangibles e intangibles para la sociedad y el medio ambiente, fortaleciendo el bienestar colectivo.

La **Figura 26** muestra cómo la **Actuación Social Sostenible** genera un ciclo continuo de retroalimentación entre las acciones humanas y los beneficios que se derivan para el planeta y la sociedad. La **competencia en sostenibilidad** busca empoderar a los actores para responder de manera eficiente y responsable a los desafíos del entorno, mejorando la sostenibilidad y la calidad de vida.

Innovación desde la Competencia en Sostenibilidad: La **competencia en sostenibilidad** es un motor clave de innovación. Fomenta la búsqueda de nuevas formas de crear valor que no solo maximicen los beneficios económicos, sino que también **minimicen los impactos negativos**. Este enfoque permite que las empresas y organizaciones mejoren sus procesos continuamente, respondiendo a las demandas del entorno y creando un ciclo virtuoso de **innovación y desarrollo sostenible**.

5.8. OPERATIVIZACIÓN DE VARIABLES

5.8.1. VARIABLE INDEPENDIENTES: INGENIERÍA

Definición Conceptual: La **Ingeniería** es definida por la **RAE** como el conjunto de conocimientos orientados a la invención y utilización de técnicas para el aprovechamiento de los recursos naturales o para la actividad industrial.

El **Proceso**, en este estudio, se refiere a la conversión eficiente de entradas en salidas. La **Ingeniería (IP)** aplica el **Ciclo CEPA** (Cuantificar, Entender, Planificar,

Actuar) para concebir, gestar y mejorar los procesos. Esto se enmarca dentro de un modelo de intercambio y un **Marco Lógico** que articula las **9 P's**: Potencialidad, Problemática, Propósito, Propuesta, Personas, Proceso, Provecho, Presupuesto y Proyecto (ver **Figura 27**).

FIGURA 27:
MARCO LOGICO ESTRATÉGICOS DE LA INGENIERÍA PARA PROCESOS DE IDEAS SOSTENIBLES



Definición Operativa: La **Ingeniería** tiene como objetivo alcanzar resultados a través de seis hitos clave (ver **Figura 30**). El proceso comienza con la identificación de la problemática, potencialidades y oportunidades. Luego, se cuantifican y analizan estas ideas hasta comprender la situación, permitiendo definir un propósito y planear la actuación. Esta actuación explora y valida hipótesis que impactan en la competitividad dentro de las dimensiones de Planeta, Personas, Procesos y Provecho. Finalmente, se generan lecciones que permiten desarrollar **emprendimientos** para crear cambios significativos.

5.8.2. VARIABLES DEPENDIENTES: COMPETITIVIDAD DEL PROCESO DE IDEAS SOSTENIBLES

Definición Conceptual: La **Competitividad del Proceso de IDEAS Sostenibles** se define como la capacidad de generar valor equilibrando los beneficios económicos, sociales y ambientales. Este concepto va más allá de la competencia en el mercado, buscando maximizar el bienestar colectivo y optimizar el uso de

recursos en las dimensiones de **Planeta, Personas, Procesos y Provecho**.

Según **Kao John** y **Sahin I.**, la competitividad es la "capacidad de crear bienestar junto con la capacidad de un entorno para fomentar la competencia y mejorar la prosperidad". En el contexto de **IDEAS Sostenibles**, la competitividad no busca superar a los competidores, sino **optimizar recursos**, fomentar la innovación y **maximizar el bienestar colectivo**.

FIGURA 28:

EL PROCESO OPERATIVO PARA DESPLEGAR IDEAS SOSTENIBLES



Definición Operativa: La competitividad se mide a través del **Rendimiento Operativo de los Procesos (ROP)**, que evalúa el desempeño en las dimensiones de **Planeta, Personas, Procesos y Provecho** (ver **Figura 28**). Este enfoque permite medir tanto el rendimiento actual como la capacidad de mejorar la productividad a lo largo del tiempo. .

$$\text{Competitividad} = \text{Bm/Cm} = \text{ROP}$$

Donde:

- **BM (Beneficio Marginal):** Es el valor generado por el uso de los recursos del planeta, medido en términos tanto tangibles como intangibles.
- **CM (Consumo Marginal):** Representa el valor del consumo de energía y recursos naturales, incluyendo la huella de carbono, según el **Ciclo de Energía y Biomasa** (Figura 2).

Medición de la Competitividad y Productividad de los procesos en ideas sostenibles

La competitividad de los procesos en ideas sostenibles se evalúa a través del Rendimiento Operativo del Proceso (ROP), que mide la eficiencia con la que se utilizan los recursos disponibles en cuatro dimensiones clave: **Planeta, Personas, Procesos y Provecho**. La **Figura 17** ilustra cómo los insumos utilizados se convierten en beneficios, optimizando el uso de los recursos.

El nivel de competitividad no solo se mide por el rendimiento actual, sino también por la capacidad de una organización para mejorar su **Productividad Total de Factores (PTF)** a lo largo del tiempo. La PTF mide el impacto de los insumos en el rendimiento global del proceso, permitiendo analizar cómo los recursos contribuyen al **Provecho** en períodos homogéneos (días, meses, años).

Indicador Único: El ROP permite medir el rendimiento en cada dimensión (Planeta, Personas, Procesos y Provecho) y consolidar estos resultados en un único indicador que refleja el desempeño global del proceso. Este indicador ofrece una visión cuantitativa clara del impacto total de las acciones realizadas, facilitando la toma de decisiones estratégicas y la gestión integral de las iniciativas de mejora.

Las fórmulas para calcular la competitividad en cada dimensión se expresan como:

- **CompetitividadPa = $BmPa / CmPa$** (Planeta)
- **CompetitividadPe = $BmPe / CmPe$** (Personas)
- **CompetitividadPo = $BmPo / CmPo$** (Procesos)
- **CompetitividadPr = $BmPr / CmPr$** (Provecho)

Donde:

- **BM (Beneficio Marginal)** es el valor generado por el uso de recursos, tanto tangibles como intangibles.
- **CM (Consumo Marginal)** representa el consumo de energía y recursos naturales, incluyendo la huella de carbono según el **Ciclo de Energía y Biomasa**.

La suma de estos valores ofrece una medida consolidada que refleja la **competitividad total del proceso**, proporcionando una evaluación integrada del rendimiento en términos de eficiencia operativa y sostenibilidad.

Además, la **Productividad Total de Factores (PTF)** permite no solo evaluar el rendimiento presente, sino también proyectar mejoras futuras, facilitando la adaptación del proceso a las demandas del entorno y maximizando su sostenibilidad y valor.

5.9. PROSPECTIVA DE ESCENARIOS, MEDIANTE CADENAS DE MÁRKOV.

En este estudio, se aplica el concepto **KLEMS** (Capital, Trabajo, Energía, Materias Primas y Servicios) para la **Productividad Total de Factores (PTF)**, reemplazándolo por las siguientes dimensiones clave:

1. **Planeta (Pa)**: Recursos naturales como energía, agua, biomasa y materiales.
2. **Personas (Pe)**: Capital humano, capacidades y bienestar.
3. **Proceso (Po)**: Trabajo y transformación realizada en los sistemas productivos.
4. **Provecho (Pr)**: Beneficios generados, tanto tangibles como intangibles.

Estas dimensiones están representadas gráficamente en las **Figuras 17 y 18**, donde cada factor interactúa para generar valor. Al aplicar **Cadenas de Márkov**, se puede calcular el estado estable del sistema, lo que ayuda a prever escenarios futuros en función de la interacción de estos factores. A cada factor se le asignan valores entre 30% y 70%, y se observa cómo influyen en los resultados finales. Además, se pueden realizar estimaciones más precisas mediante encuestas, paneles de expertos o simulaciones que determinan el peso relativo de cada factor en los escenarios.

En una **Matriz Insumo-Producto**, los valores porcentuales representan probabilidades de la contribución de cada factor a la producción (PBI) en la economía de una región o país. Usando el método **Montecarlo**, se simulan y proyectan tendencias a futuro, aplicando las **Tablas de Leóntiev** y **Cadenas de Márkov** para analizar el impacto del capital humano (Pe) en el desarrollo de los factores clave. Esto permite validar y evaluar posibles políticas públicas y su impacto sobre la competitividad, así como el efecto transversal de tecnologías y metodologías en los resultados esperados.

El modelo propuesto se define a través de las **9 P's**, que forman el Marco Lógico de la **INGENIERÍA, PARA PROCESOS DE INNOVACIONES Y DESARROLLOS, CON EMPRENDIMIENTOS Y ACTUACIONES SOCIALES SOSTENIBLES**, midiendo el impacto de la competitividad y la capacidad de generar cambios en las dimensiones de **Planeta, Personas, Procesos y Provecho**.

Matriz Insumo producto en valores porcentuales (probabilidades) de la **Producción (PBI)** en la Economía, País o Región.

TABLA 16: ESCENARIO INICIAL DE CONSUMO MARGINAL DE LA AMAZONIA

	Pa	Pe	Po	Pr
Pa	0.6000	0.3000	0.0900	1.0000
Pe	0.6000	0.3000	0.0900	0.0100
Po	0.8900	0.0100	0.0900	0.0100
Pr	0.4000	0.5000	0.0900	0.0100

Para mejorar la **competitividad** y el **desarrollo sostenible**, es necesario tener en cuenta el **Ciclo de Creación y Desarrollo de la Competitividad del Capital Humano** (Figura 19). Este ciclo busca crear valor tangible (recursos) e intangible (capacidades), maximizando los **beneficios marginales** para los seres humanos (**Pe**), mientras se minimizan los impactos negativos y el consumo de recursos del planeta (**Pa**), como el aire, energía, agua y biomasa.

Es fundamental cambiar el enfoque de la medida tradicional en términos de valor monetario hacia unidades que reflejen mejor la sostenibilidad, como las **toneladas equivalentes de CO2** o la **huella de carbono**. Este enfoque permite evaluar de manera más precisa el impacto de los procesos sobre el planeta y los recursos naturales.

.

TABLA 17: MATRIZ DE OPERATIVIZACIÓN DE VARIABLES

Variable	Definiciones Conceptuales	Definiciones Operativas y Categorización	Dimensiones	Indicadores	Item e Instrumentos
Ingeniería	Según RAE conjunto de conocimientos orientados a la invención y utilización de técnicas para el aprovechamiento de los recursos naturales o para la actividad industrial.	Variable independiente Ingeniería	ingeniería	Indice de Rendimiento Marginal Operativo del Proceso = $ROP = \frac{BM}{CM} = \frac{PBW}{HCPBI}$	Entrevistas
Competitividad del Procesos de Innovar, Desarrollar y Emprender, para actuar social y sostenible	Basado en el marco conceptual, es la conversión de entradas en salidas	Variable dependiente, los procesos y la competitividad, Innovaciones y Desarrollos, con Emprendimientos y Actuaciones Sociales Sostenibles, Integrando diversas metodologías para concebir, gestar y mejoras, la transformación de las entradas en las salida esperada como resultado	Procesos		Interpretación de Información Secundaria, Observación directa información primaria
	Para Saiz Segarra (2005), M.Á Dentro del Proceso de Innovación pexiste una fase primaria en la cual lo importante es generar el máximo de ideas potencialmente innovadoras. Una innovación no deja de ser una buena idea llevada a la práctica y para tener una buena idea se deben de haber generado muchas.		Competitividad	Indice de competitividad del WEF	Información secundaria Informe de competitividad de WEF, Índice de desarrollo Huando de ONU, Sostenibilidad ODS
	Para Sen Amartya (1973), el desarrollo humano, es el desarrollo de la libertad, incluye el acceso al conocimiento, la información y los medios para hacer del ser humano		innovaciones		
	La palabra emprendimiento proviene del francés entrepreneur que, a su vez, deriva del latín prenderé y significa "intentar" y hace referencia a la capacidad de una persona de realizar un esfuerzo adicional para alcanzar una meta. En la actualidad se refiere a una nueva empresa o proyecto que inicia una persona o grupo de personas por cuenta propia	La variable independiente "Ingeniería", y la variable dependiente "Procesos en IDEAS Sostenibles (Innovaciones y Dearrollos, con Emprendimientos y Actuaciones Sociales Sostenibles)" tiene por componentes en una Matriz Insumo (Persona, Proceso y Productos) = al PBI y donde el Planeta (Pa) es la Huella de carbono (Materia - Energía - Materia Viva), todo se calcula mediante una formula	Desarrollos	Indice ODS	Ficha metodológica de ingeniería del proceso de ideas sostenibles
	Actuar, radica en la competencia para hacer en ese sentido Kao John [21], Sahin I. [13] definen la competitividad como "la capacidad de crear bienestar, conjuntamente con la capacidad relativa de una nación, para crear y mantener un entorno en el que las empresas puedan competir, de manera que el nivel de prosperidad se pueda mejorar.		Emprendidmientos	IPCC, directivas e informes de Huella de Carbono	informe IPCC de Huella de Carbono de Perú 2023
	Segun RAE. adj. Perteneciente o relativo a la sociedad, en general centrado en beneficios para las personas y/o conjunto de personas como (sociedad)		Actuar	HC (Huella de Carbono) = MVC (Materia Viva Consumida y/o Energía Liberada) = $(C_{pa} + C_{pe} + C_{po} + C_{pr})$	Informes económicos y contables de MEF, SUNAT, INEI
	Basicamente sostenible por el planeta, significa que el uso y consumo del planeta no debe superar la capacidad de recuperación del planeta .		Social	PBI = Beneficios Marginales = Planeta (Pa) + Personas (Pe)+ Procesos (Po) + Provecho (Pr)	Cadenas de Márkov
			Sostenible		Flujo proyectado esperado de Beneficios marginales por impacto positivo generado, reducción de huella y captura de carbono

5.10. POBLACIÓN Y MUESTRA

5.10.1. Población:

Para Valderrama (2015), la población representa a un grupo de elementos o individuos incluidos a partir de algunos criterios predefinidos para luego obtener una muestra⁴⁵. O como menciona Borrego (2007), la población es el conjunto de elementos que queremos estudiar como un todo, para ello debemos determinar las características o cualidades que nos interesan.⁴⁶

En el presente trabajo de investigación la población son el conjunto de personas especialista en Ingeniería para el Desarrollo Sostenible y temas relacionados, que son profesionales e investigadores de alto nivel que vienen laborando en el sector socioeconómico, ambiental y ecológicos que son en la actualidad 6 personajes del país, que son docentes de la FIIS UNI, y que además conocen los modelos como la cadena de Márkov y métodos prospectivos de análisis.

5.10.2. Muestra

Para Valderrama (2015), es el subconjunto de elementos del que se va a recolectar datos que representa a toda la población.⁴⁷

Dado que la población es pequeña (8 especialistas, TABLA 18) y por tener acceso a los especialistas en medio ambiente y aplicación de cadena de Márkov, no se realizará fórmulas estadísticas para calcular la muestra, sino que, utilizaremos toda la población. Este punto es respaldado por Vara-Horna (2010), quien nos menciona que si la población es pequeña y podemos tener acceso a ella sin inconvenientes entonces se recomienda trabajar con toda la población por lo que el muestreo no es necesario.⁴⁸ Así mismo, Arias (2012), indica que si la población es accesible en su totalidad no es necesario extraer una muestra, sino que se trabajará con toda la población objetiva.⁴⁹

5.10.3. Identificación de Expertos

Según Valderrama (2015) es la recopilación de opiniones que brindan los profesionales y verifican que el instrumento seleccionado mida lo que el indicador pretende medir (Id.Ibíd. p. 199).

TABLA 18: EXPERTOS

Nombre	Especialidad
Ing. Luis Acuña	Dr. Ingenieros Industrial
Ing. Benito Zarate	Dr. Ingeniero Industrial
Ing. María Egusquiza	Dr. Administración Ingeniero Industrial.
Ing. Teresita Huamani.	Dr. Ingeniero Industrial
Ing. Un Jan	Dr. Ingeniero Electrónico
Ing. Jose Carlos Alvarez	Dr. Ingeniero Mecánico
Ing. Juan Carlos Sotelo	Dr. Ingeniero Industrial
Ing. Gloria Valdivia	Dr. Ingeniero Industrial
Ing. Víctor Caicedo	Dr. Ingeniero Industrial
Ing. Tania Alejandro	Dr. Ingeniero Industrial

5.10.4. Confiabilidad del instrumento

La R de Korbach.o R de Pearson.

5.11. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

Observación (Instrumento: Ficha de registro)

Cuestionario de Encuesta, con Preguntas de opinión o de interpretación, Respuestas cerradas o abiertas y calificación sobre los diversos instrumentos y métodos utilizados, para impactar las cuatro dimensiones seleccionadas (Planeta, Personas, Procesos, Producto, Sevicios, y/o el provecho) así como de los Resultados a Lograr.

- Entrevistas
- Documentación
- Ficha metodológica de Ingeniería para Procesos de Ideas Sostenibles
- Cadenas de Márkov
- Evaluación Exegética

5.12. RECOMPILACIÓN Y ANALISIS DE DATOS (TABULACIÓN UTILIZANDO MATLAB)

En esta sección, se realiza la recopilación y análisis de datos utilizando MATLAB, con un enfoque en la tabulación y simulación de escenarios a partir de datos tanto **cuantitativos como cualitativos**. Los datos utilizados provienen de diversas fuentes, incluyendo **fuentes secundarias** como el **Índice de Competitividad del WEF** (Sala-i-Martin, 2009-2010), el **Índice de Desarrollo Humano del UNDP** (UNDP, 2021), y los **Indicadores ODS**, los cuales son cualitativos en su origen, basados en percepciones y evaluaciones subjetivas que luego se cuantifican para su análisis y proyección.

El análisis de estos indicadores permite la construcción de tendencias y escenarios basados en simulaciones para evaluar diferentes trayectorias de desarrollo. Estos datos cualitativos se combinan con información cuantitativa, proveniente de **fuentes primarias** como los registros contables de producción, utilizados para construir el **Indicador ROP (Rendimiento Operativo del Proceso)**. El ROP (Figura 16), en este contexto, es un indicador clave **cuantitativo** que mide la competitividad de los procesos y se basa en datos contables reales, siguiendo los métodos propuestos por la **contabilidad TOC** (Goldratt, 1984).

Esta combinación de fuentes de datos fortalece el análisis al integrar tanto la **observación directa de datos primarios** como la **interpretación de datos secundarios**. Mientras que los índices cualitativos ofrecen una visión general de la competitividad y el desarrollo, los datos contables proporcionan un análisis más preciso y detallado del rendimiento operativo. Este enfoque mixto permite contrastar, analizar y evaluar los resultados de manera integral.

El análisis se realiza mediante simulaciones en MATLAB, que permiten proyectar escenarios y evaluar el impacto de diferentes factores sobre la competitividad y sostenibilidad de los procesos. La construcción de los escenarios utiliza las tendencias derivadas de los datos cualitativos y cuantitativos, proporcionando una visión más completa de los posibles futuros del sistema. Estas simulaciones facilitan la toma de decisiones estratégicas y la planificación de intervenciones que maximicen el rendimiento y la sostenibilidad en un marco de economía circular (Figura 18).

Finalmente, el uso de MATLAB para la simulación y proyección de escenarios,

aplicando los modelos de referencia desarrolla en las secciones anteriores de esta tesis, permite anticipar los efectos de diferentes decisiones estratégicas en los procesos productivos. La flexibilidad de las herramientas de simulación facilita el ajuste de los factores clave, permitiendo evaluar múltiples escenarios y sus implicaciones para la sostenibilidad y competitividad del sistema.

INFORMACIÓN ESTADÍSTICA

El problema de la competitividad en el desarrollo de la Amazonía comenzó en los años 60 con la construcción de la Carretera Marginal de la Selva y la expansión de la frontera agrícola. Este proceso incluyó la regulación de la actividad extractiva y la explotación forestal, basándose en un modelo de tala y reforestación de otras regiones. Sin embargo, en más de 80 años de aplicación, estas prácticas han generado una cultura de explotación y extracción de madera, mientras que los programas de reforestación no han crecido ni se han implementado adecuadamente. Como se observa en la **Figura 4** y **Tabla 19**, la deforestación ha seguido una tendencia de crecimiento continuo.

TABLA 19: SUPERFICIE DEFORESTADA DEL PERÚ, SEGÚN DEPARTAMENTO, 1985, 1995 Y 2000 (HECTÁREAS)

Departamento	1985 a/	1995 b/	2000 c/
Total	5 642 447	6 948 237	7 172 554
Amazonas	1 293 686	1 482 746	1 001 467
Ayacucho	72 675	73 895	135 366
Cajamarca	462 318	462 318	520 030
Cusco	273 676	371 771	537 601
Huancavelica	-	-	51 987
Huánuco	482 161	562 336	600 620
Junín	538 446	660 711	734 273
La Libertad	20 800	20 800	7 231
Loreto	765 739	1 039 299	945 591
Madre de Dios	45 501	80 876	203 879
Pasco	144 770	204 455	302 008
Piura	8 400	8 400	31 735
Puno	54 764	59 579	146 033
San Martín	1 063 603	1 351 208	1 327 669
Ucayali	415 908	569 843	627 064

Nota: Las variaciones en la superficie forestal reportadas para los departamentos de Amazonas, Huancavelica, La Libertad, Loreto y San Martín se deben principalmente a la utilización de diferentes técnicas de medición en 1995, donde se emplearon imágenes del Landsat Multispectral Scanner Sensor a escala 1:1,000,000 y del Side Looking Airborne Radar a escala 1:125,000. Por esta razón, los datos de superficie forestal para los años 1995 y 2000 no son estrictamente comparables.

a) Instituto Nacional de Recursos Naturales. (1996). *Compendio estadístico de la actividad forestal y de fauna 1980-1996*.

b) Instituto Nacional de Recursos Naturales. (1995). *Mapa Forestal 1995: Guía explicativa*.

A finales de los años 90, se replanteó la estrategia forestal mediante concesiones, transfiriendo las funciones de manejo y reforestación a los concesionarios. Aunque se establecieron políticas para que los concesionarios preservaran los recursos naturales, este enfoque no logró controlar eficazmente la extracción de madera. La tala se organiza en ciclos de 30 años sin la obligación de reforestar a un ritmo que compense la extracción. Esto, junto con prácticas ilegales, ha institucionalizado la deforestación y depredación de los bosques.

Inicialmente, la tala en los bosques naturales fue selectiva, enfocándose en las especies más valiosas. Sin embargo, a medida que los concesionarios mejoraron sus capacidades de extracción, se empezó a talar una mayor variedad de especies, lo que aceleró la degradación de la Amazonía. Hoy en día, casi cualquier especie de madera es aprovechable, intensificando el proceso de deforestación. Este modelo ha roto el equilibrio natural de los bosques, dificultando su recuperación en los próximos 30 años, como se detalla en las **Figura 4, Tabla 19 y 20**.

TABLA 20: PRODUCCIÓN DE MADERA ASERRADA, SEGÚN ESPECIE FORESTAL, 2004-2014

(Metros cúbicos)

forestal	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014 P/
Especie											
Total	671 229	743 428	856 339	936 667	807 834	625 769	628 051	711 628	691 311	575 262	667 153
Caoba	34 315	34 660	18 648	7 723	3 568	2 740	1 230	745	310	328	612
Catahua	27 689	26 472	33 837	36 309	24 550	16 599	12 181	16 415	11 552	6 607	14 970
Cedro 1/	89 006	73 106	80 758	89 877	33 483	16 971	17 794	12 779	10 484	15 718	8 978
Copaiba	22 913	17 490	23 413	32 544	27 197	20 769	15 319	18 099	15 131	14 457	23 139
Cumala	113 780	109 509	98 643	133 592	145 396	63 249	64 051	111 905	88 443	77 428	83 639
Eucalipto	37 342	49 905	52 966	54 335	56 288	40 779	49 826	53 025	53 949	47 060	46 294
Ishepingo	4 199	4 466	5 111	5 900	3 655	3 561	2 274	2 918	2 936	2 155	1 350
Mohena	21 216	22 927	30 585	29 429	24 929	21 332	22 203	22 698	15 565	14 736	14 975
Roble	6 216	5 206	4 250	1 888	2 702	3 139	11 074	10 451	14 497	12 836	14 313
Tornillo	77 824	82 625	109 882	114 105	109 996	104 364	99 173	113 973	107 696	112 936	94 142
Otras especies 2/	236 729	317 062	398 246	430 965	376 070	332 266	332 926	348 620	370 748	271 001	364 741

Nota: 1. *Cedrela odorata*; 2 Incluye: Alfaro, capirona, caraña, congona, diablo fuerte, huayruro, cachimbo, higuera, leche leche, lupuna, lagarto caspi, mata palo, nogal, paca, roble amarillo, ulcumano, utucuro, y otros.

Fuente: Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR). Perú: *Anuario de Estadísticas Ambientales* 2015.

Aunque las políticas de tala siempre han incluido programas de reforestación, en general la mayoría han fracasado, debido a la alta tasa de marchitamiento de las plántulas, que alcanza el 90%.

TABLA 21: IMPORTACIÓN DE LOS PRINCIPALES PRODUCTOS FORESTALES MADERABLES, 2004 - 2014

(Metros cúbicos)

Producto	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Total	226 801	245 690	274 840	352 811	467 703	401 313	513 840	578 806	665 055	724 450	698 431
Carbón vegetal	50	116	518	878	433	1 059	1 232	1 140	2 985	2 683	580
Madera rolliza	26 499	11 709	5 493	9 737	20 019	23 503	39 859	38 194	70 137	45 858	48 600
Madera aserrada	21 596	22 810	25 867	39 816	52 826	48 145	73 804	78 662	86 261	99 504	93 356
Parquet											
	537	401	499	130	163	592	370	855	1 552	443	192
Durmientes	1 764	855	2 741	1 709	1 995	1 052	969	1 098	906	1 925	911
Madera contrachapada											
	1 774	3 675	2 603	5 406	11 783	10 552	19 459	20 036	25 746	27 312	11 963
Chapas decorativas y madera laminada	382	166	183	193	323	456	46	74	67	60	113
Manufactura de madera	6 179	6 193	7 529	7 908	13 781	9 920	13 034	15 171	16 324	16 732	21 574
Tableros de fibra	22 979	31 590	38 638	39 988	62 032	40 826	57 859	66 713	74 993	78 495	81 152
Tablero de partículas	57 396	72 009	80 519	103 975	61 117	77 012	81 773	104 322	100 873	141 888	165 693
Pulpa de madera	86 516	94 707	101 400	127 154	149 187	116 641	131 878	141 798	146 026	159 816	131 370
Otros 1/	1 129	1 459	8 850	15 917	94 044	71 555	93 557	110 743	139 185	149 734	142 927

1/ Incluye: Lana de madera (viruta), leña, pipas y cazoletas, madera en plaquitas y residuos de madera (aserrín).

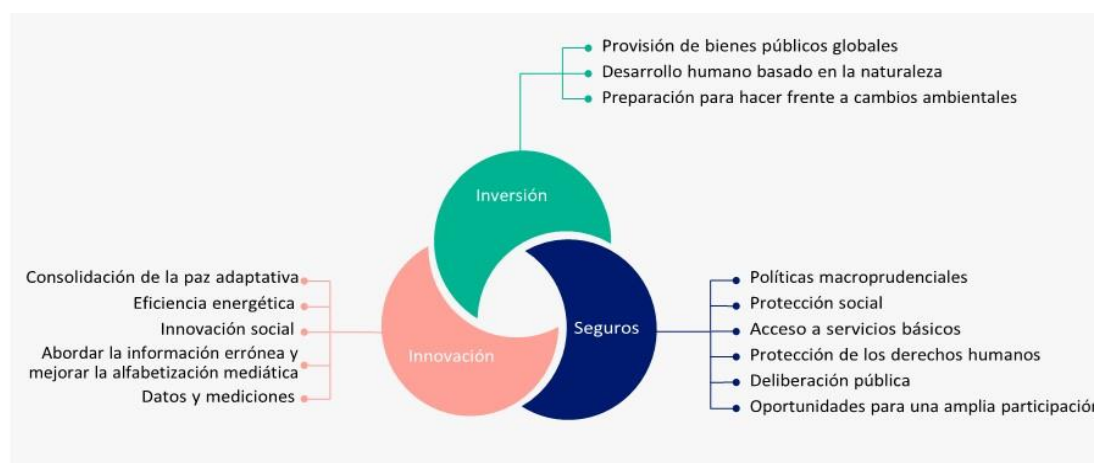
Fuente: Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR). Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2015

Hasta la fecha, no se han identificado metodologías o tecnologías efectivas para la reforestación de los bosques deforestados en el Perú. Las lecciones aprendidas de

los últimos 80 años son desalentadoras, y los planes originales para el desarrollo sostenible de la selva han fracasado.

El modelo de negocio extractivo en la Amazonía es obsoleto, ineficiente e insostenible. Anualmente, se deforestan en promedio 150 mil hectáreas, superando los 15 millones de hectáreas en el Perú. Este paradigma prioriza el beneficio económico sobre el bienestar humano, reflejado en una matriz que pondera más el **Provecho** que el factor **Personas**. Las simulaciones basadas en cadenas de Márkov permiten proyectar tendencias, determinando el estado estable y las transiciones de estos factores hacia diferentes escenarios futuros.

FIGURA 29:
MEJORAR LA SEGURIDAD DE LA POBLACIÓN A TRAVÉS DE LA INVERSIÓN, LOS SEGUROS Y LA INNOVACIÓN

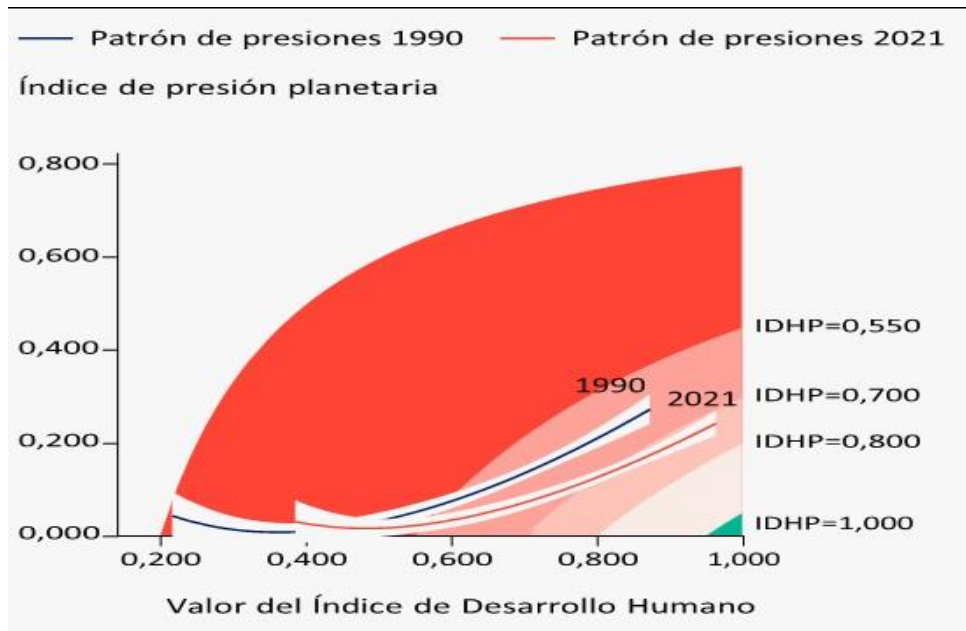


Fuente: Oficina del Informe sobre Desarrollo Humano.

La inversión en gobernanza conectada con las personas es crucial para proteger los recursos naturales y fomentar la seguridad alimentaria y económica. A su vez, las instituciones deben promover principios de **flexibilidad, solidaridad, creatividad e inclusión**, como se discute en la **Figura 31**.

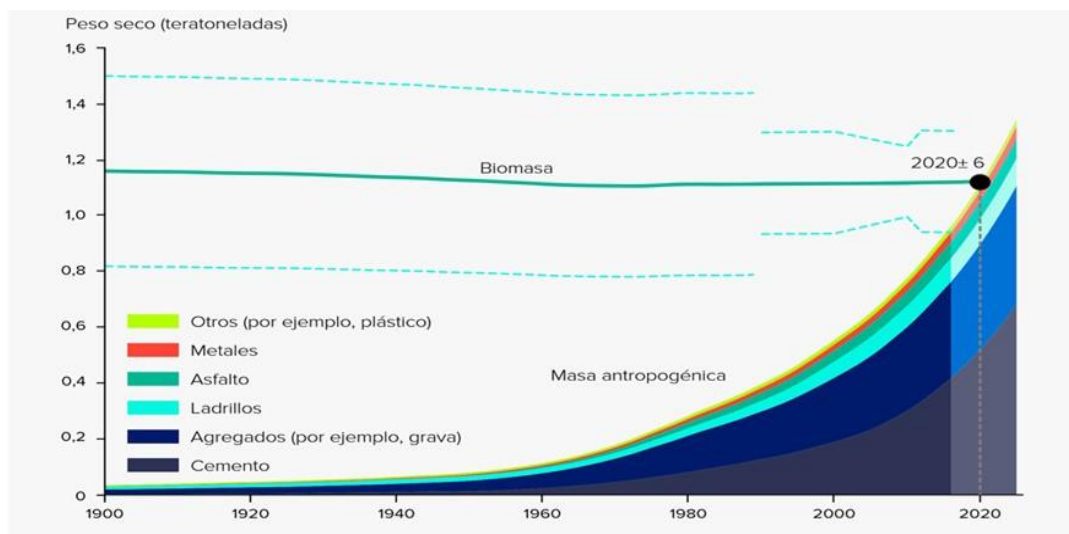
La capacidad de respuesta de las políticas debe equilibrar la exploración creativa con acciones concertadas, arraigadas en los derechos humanos. Alcanzar este equilibrio requerirá confianza, cooperación y un enfoque iterativo basado en el aprendizaje mutuo.

FIGURA 2:
TRANSFORMAR NUESTRO MUNDO PARA IMPULSAR EL DESARROLLO HUMANO,
ALIVIANDO AL MISMO TIEMPO LAS PRESIONES PLANETARIAS



Nota: Los patrones de presiones interseccionales para 1990 y 2021 se calcularon mediante un modelo de regresión polinómica. Las áreas sombreadas representan los intervalos de confianza. El índice de presiones planetarias se construyó utilizando las emisiones de dióxido de carbono per cápita y la huella material de cada país, ajustado según el factor de presiones planetarias mostrado en la Figura 31. Fuente: OUNDP (2023). *Informe sobre Desarrollo Humano*, Figura 31. (Véanse las fuentes específicas en las tablas 2 y 7 del anexo estadístico).

FIGURA 31:
EN LA ACTUALIDAD, LA MASA ANTROPOGÉNICA SUPERA LA BIOMASA VIVA
TOTAL DEL PLANETA



Fuente Elhacham et al (2020)

5.13. FICHA DE REGISTRO DE ESCENARIOS Y SIMULACIONES EN MATLAB

Generación y Análisis de Escenarios en las 4 Dimensiones utilizando Matlab:

Para la simulación de escenarios y la proyección de tendencias dentro del marco de las 4 dimensiones clave (Planeta, Personas, Proceso y Provecho), se ha utilizado el software Matlab para modelar y evaluar cómo los cambios en los factores afectan el sistema de forma global. Las simulaciones permiten visualizar cómo la interacción entre estos factores genera un comportamiento dinámico que conduce hacia un estado estable o de equilibrio.

En este contexto:

- **P1 = Pa = Planeta** representa los recursos naturales y el impacto ambiental.
- **P2 = Pe = Personas** simboliza el factor humano y su influencia en los demás componentes.
- **P3 = Po = Proceso** se refiere a los procesos productivos y operativos.
- **P4 = Pr = Provecho** abarca los beneficios tangibles e intangibles que se generan.

Cada escenario de simulación tiene como objetivo explorar diferentes combinaciones de entradas y analizar cómo estas afectan los resultados globales del sistema. En este análisis, las Tablas 22, 23 y 24 muestran cómo se comportan los factores y las relaciones entre ellos tras diversas iteraciones.

TABLA 22: PROSPECTIVA DE FACTORES CLAVES, ESCENARIO 1

Pa	Pe	Po	Pr	T ² =
Pa 0.6000	0.3000	0.0900	0.1000	0.6241 0.2759 0.0900 0.0100
Pe 0.6000	0.3000	0.0900	0.0100	0.6241 0.2759 0.0900 0.0100
Po 0.8900	0.0100	0.0900	0.0100	0.6241 0.2759 0.0900 0.0100
Pr 0.4000	0.5000	0.0900	0.0100	0.6241 0.2759 0.0900 0.0100

a TABLA 22 representa la simulación de un escenario inicial en el que, tras una iteración, se observa un valor estable. El factor P1 (Planeta) se ve incrementado gracias al impacto positivo del factor P2 (Personas), que a su vez influye sobre los factores P3 (Proceso) y P4 (Provecho). Esta simulación sugiere que la intervención en el factor humano tiene un efecto catalizador en el sistema, haciendo crecer los aportes del Planeta.

Experimentos y Ajustes en las Iteraciones

Después de las primeras iteraciones, se ajustaron los valores de entrada para experimentar con diferentes combinaciones y observar los efectos sobre el estado estable del sistema. El objetivo de estos experimentos es validar cómo las intervenciones estratégicas pueden influir positivamente en la sostenibilidad y competitividad del sistema.

TABLA 23: PROSPECTIVA DE FACTORES CLAVES, ESCENARIO 2

T=[					T^3 ans =				
0.5700	0.3300	0.0900	0.0100;		0.5926	0.3076	0.0891	0.0109	
0.5700	0.3300	0.0900	0.0100;		0.5926	0.3076	0.0891	0.0109	
0.8900	0.0100	0.0900	0.0100;		0.5926	0.3076	0.0891	0.0109	
0.0100	0.9000	0.0100	0.0900];		0.5933	0.3167	0.0896	0.0115	

La TABLA 23 muestra un segundo escenario, en el cual se realizaron ajustes en las ponderaciones de los factores. A través de esta simulación, se identificaron ligeras variaciones en los aportes de los factores P1 y P2, lo que permite analizar cómo los cambios en las políticas o estrategias enfocadas en el factor humano pueden alterar el equilibrio del sistema.

TABLA 24: PROSPECTIVA DE FACTORES CLAVES, ESCENARIO 3

T=[					T^5 ans =				
0.1000	0.8000	0.0900	0.0100;		0.1615	0.7389	0.0892	0.0109	
0.1000	0.8000	0.0900	0.0100;		0.1615	0.7389	0.0892	0.0109	
0.8000	0.1000	0.0900	0.0100,		0.1615	0.7389	0.0892	0.0109	
0.0100	0.9000	0.0100	0.0900];		0.1632	0.0	0.0901	0.0110	

En la TABLA 24, se proyecta un escenario a más largo plazo, en el que se observa un comportamiento más estable en los factores tras varias iteraciones. En este escenario, el factor P2 (Personas) muestra un impacto predominante sobre el sistema, lo que refuerza la idea de que el desarrollo humano y su interacción con los procesos es un factor clave para el éxito del sistema en su conjunto.

Análisis e Interpretación de Simulaciones

Las simulaciones revelan que el comportamiento dinámico de los factores puede predecirse mediante el uso de Cadenas de Márkov, lo que permite calcular el estado

estable de cada escenario. A medida que se realizan iteraciones, los valores tienden a estabilizarse, lo que brinda una herramienta para predecir el impacto de políticas públicas y estrategias de sostenibilidad, en el desarrollo futuro de la Amazonía y otras regiones similares.

En resumen, las Tablas 22, 23 y 24 representan las diferentes perspectivas de los escenarios simulados, permitiendo la proyección de los efectos de las decisiones estratégicas y su impacto, en la sostenibilidad y competitividad de los sistemas analizados

5.14. EVALUACIÓN EXERGÉTICA PROYECTIVA

El objetivo de convertir el bosque en una fuente de generación de **valor y capital verde sostenibles** a largo plazo, basado en un enfoque estratégico que transforma la Amazonía de una zona de explotación maderera a una fuente de recursos renovables de biomasa y servicios ecosistémicos de alto valor. Este modelo promueve la **regeneración activa** del ecosistema, al mismo tiempo que **genera ingresos sostenibles** para las comunidades locales, sin comprometer la integridad ambiental.

En lugar de ver el bosque únicamente como una fuente de madera, se reconoce su potencial como un **capital verde** que crece autónomamente y ofrece una diversidad de productos y servicios valiosos, como la captura de carbono, la producción de biomasa, y el turismo vivencial sostenible. El **Sistema ATA** (Actuación Técnica para el Autosostenibilidad) en la Amazonía, permite aprovechar estos beneficios mediante prácticas que optimizan el uso del bosque sin talarlo, como las **podas selectivas**, el **raleo** y la **recolección de productos no maderables** (frutos, semillas, resinas, etc.), los cuales son subastados en mercados especializados, maximizando su valor.

Este enfoque asegura la regeneración natural del bosque y la **potencia**, utilizando tecnologías y prácticas sostenibles que mejoran su capacidad para secuestrar carbono y generar **productos de alto valor**, al tiempo que enfría el planeta. Cada hectárea intervenida bajo este modelo puede capturar hasta **10 toneladas de CO₂** al año, lo que se traduce en **biomasa** que puede ser comercializada, todo mientras se conserva y enriquece el ecosistema.

Además, se propone un **modelo de inversión internacional**, donde las comunidades amazónicas emiten **acciones verdes** para financiar la regeneración y el desarrollo sostenible del bosque. De este modo, el bosque amazónico no solo se

convierte en un **activo económico**, sino también en una solución climática que contribuye al **balance de materia, energía y materia viva** del planeta, con resultados medibles a través del crecimiento del bosque, que es monitoreado por imágenes satelitales y sistemas contables tradicionales.

Este sistema **ATA** no solo garantiza la sostenibilidad del ecosistema, sino que crea oportunidades económicas para las comunidades locales, al tiempo que contribuye a la lucha global contra el cambio climático.

Supuestos del Escenario de Evaluación Exergética Proyectada

En este escenario, se estima que cada hectárea de bosque tiene la capacidad de capturar **al menos 120 toneladas de CO₂**, convirtiéndolo en un **sumidero de carbono altamente eficiente**. La **producción de biomasa** varía entre **10 y 12 toneladas por hectárea anualmente**, siempre que se apliquen **prácticas sostenibles** como podas y raleos. Estas prácticas permiten un ciclo de extracción cada **dos años**, garantizando el **uso sostenible** del bosque sin la necesidad de talar árboles, preservando su **integridad ecológica**.

La biomasa generada puede comercializarse a un precio promedio de **320 USD por tonelada** en el mercado, lo que asegura un **ingreso sostenible** significativo para las comunidades locales. Además de los ingresos por biomasa, el modelo se complementa con otras fuentes de ingresos, como el **turismo vivencial**, que ofrece a las comunidades la oportunidad de compartir su entorno natural con los visitantes, y los **bonos de carbono**, que se obtienen por la captura de CO₂. Estas actividades diversifican las fuentes de ingreso y fortalecen el **modelo económico sostenible**, basado en la **conservación activa** y el **desarrollo responsable** del bosque amazónico.

Este enfoque no solo asegura el **manejo sostenible** de los recursos naturales, sino que también fomenta la **regeneración continua** del bosque, contribuyendo tanto a la **mitigación del cambio climático** global como al **desarrollo económico** de las comunidades amazónicas.

Para este análisis, se desarrollaron dos flujos proyectivos:

1. **Flujo 1: Evaluación exergética (Tabla 25 y26), para un ATA (Acción Técnica para Autosostenibilidad).**

2. Flujo 2: Evaluación exergética (Tabla 27 y 28), para un Programa ATA, que considera la implementación en múltiples aldeas.

A continuación, se presentan los supuestos para ambos flujos y las proyecciones de los flujos de caja resultantes:

Supuestos para la Proyección del Flujo 1 (ATA)

El Flujo 1 proyecta los supuestos, (Tabla 26) para el Análisis de un ATA individual. Los supuestos incluyen la tasa de incremento del bosque, la captura de carbono por hectárea, los costos operativos y los ingresos generados tanto por la biomasa como por otras actividades relacionadas, como el turismo vivencial y los bonos de carbono.

TABLA 25: SUPUESTOS UTILIZADOS PARA LA PROYECCIÓN DEL FLUJO DE CAJA EN UN ATA.

TIAB Tasa de incremento Bosque	-		
TATA Tasa de Incremento ATA	-		
ACCION ATA (\$)	1,000	100	
Inversión x ATA (\$)		50,000	
CO ₂ por hectárea ton		120	
Producción Biomasa hectárea		10	12
Inversión Ton CO ₂	50		
Huella anual CO ₂ hectárea	1		
Consumo de biomasa hectárea		1	
Precio Ton Biomasa US\$	320		
Costo (Consumo) Operativo anual			36,000
Otros ingresos		24,000	

Descripción: Tabla 25 y 27 presenta los supuestos clave utilizados para la proyección financiera y la evaluación exergética de un ATA. Incluye las tasas de incremento del bosque, los costos operativos, los ingresos por la biomasa y otros ingresos proyectados

A partir de los supuestos anteriores, se proyecta el flujo de caja estimado para un ATA durante su ciclo operativo. Este flujo considera tanto los ingresos marginales generados por la captura de carbono y la producción de biomasa, como los beneficios adicionales derivados del turismo vivencial y la inversión en infraestructuras clave.

Proyección de Valor y Beneficios Marginales

El modelo ATA busca maximizar los ingresos marginales mediante la valorización de los recursos generados por el bosque amazónico, incluyendo la biomasa, la captura de carbono, y productos de alto valor como frutos, semillas, y especies endémicas de madera, que pueden ser colocadas en subasta. Se pone en valor cada unidad de biomasa y se prioriza el uso sostenible del bosque, fomentando la regeneración del ecosistema y evitando la deforestación. En lugar de talar árboles, las actividades se

basan en la recolección de productos de manera sostenible, asegurando un flujo continuo de ingresos sin comprometer la integridad del bosque.

En un mes, se interviene una hectárea, pero cada intervención se realiza de manera cíclica, volviendo a intervenir la misma hectárea luego de 2 años. Este ciclo sostenible genera un modelo de despliegue piramidal que, en un plazo de 5 años, podría detener la deforestación en la región, y en un plazo de 10 años, revertir las áreas degradadas, devolviéndolas a su estado natural.

TABLA 26: FLUJO DE CAJA PROYECTADO PARA UN ATA

ENTRADA / AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión US\$	100,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Accion ATA US\$	100,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ATA	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bosque Hec	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
CO₂ Ton	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CTV US\$											
CO₂ Ton	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Biomasa Ton											
Costo Operativos US\$		<u>36,000</u>	<u>36,000</u>	<u>36,000</u>	<u>36,000</u>	<u>36,000</u>	<u>36,000</u>	<u>36,000</u>	<u>36,000</u>	<u>36,000</u>	<u>36,000</u>
Bosque Hec		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
CO₂ Ton	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Biomasa Ton	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
SALIDA / AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Throughput US\$		82,080	82,080	82,080	82,080	82,080	82,080	82,080	82,080	82,080	82,080
Inversión	50,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Otro ingresos		36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000	36,000
CO₂ Ton	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Biomasa Ton	-	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
Utilidad Neta US\$		<u>44,160</u>	<u>44,160</u>	<u>44,160</u>	<u>44,160</u>	<u>44,160</u>	<u>44,160</u>	<u>44,160</u>	<u>44,160</u>	<u>44,160</u>	<u>44,160</u>
CO₂ Ton	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Biomasa Ton	-	6	138	138	138	138	138	138	138	138	138
Neto Acumulado US\$	50,000	94,160	138,320	182,480	226,640	270,800	314,960	359,120	403,280	447,440	491,600
Bosque Hec	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
CO₂ Ton	1,628	1,646	1,664	1,682	1,700	1,718	1,736	1,754	1,772	1,790	1,808
Biomasa Ton	-	6	132	270	408	546	684	822	960	1,098	1,236

Flujo de Caja Proyectado

Las Tablas 26 y 28 presentan el flujo de caja proyectado para un ATA individual y para un programa completo de ATA. Estos flujos incluyen la inversión inicial, los ingresos generados por las actividades sostenibles, y los beneficios económicos derivados de la captura de carbono y la biomasa. Se estima que cada hectárea de

bosque intervenida bajo el sistema ATA podría generar hasta 10 toneladas de carbono capturado anualmente, con frutos y semillas de alto valor que ofrecen ingresos adicionales.

FLUJO 2: PROYECTADO PARA PROGRAMA ATA

TABLA 27: SUPUESTOS

TIAB Tasa de incremento Bosque	2	
TATA Tasa de Incremento ATA	2	
ACCION ATA (\$)	1,000	100
Inversión x ATA (\$)	50,000	
CO ₂ por hectárea ton	120	
Producción de Biomasa hectárea	10	12
Inversión Ton CO ₂	50	
Huella anual CO ₂ hectárea	1	
Consumo de biomasa hectárea	1	
Precio Ton Biomasa US\$	320	
Costo (Consumo) Operativo anual	36,000	
Otros ingresos	24,000	

TABLA 28: FLUJO DE CAJA PROYECTADO PARA PROGRAMA ATA

ENTRADA / AÑO	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión US\$	100,000	200,000	400,000	800,000	1,600,000	3,200,000	6,400,000	12,800,000	25,600,000	51,200,000	102,400,000
Accion ATA US\$	100,000	200,000	400,000	800,000	1,600,000	3,200,000	6,400,000	12,800,000	25,600,000	51,200,000	102,400,000
ATA	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1,024
Bosque Hec	12	36	108	324	972	2,916	8,748	26,244	78,732	236,196	708,588
CO ₂ Ton	50	100	200	400	800	1,600	3,200	6,400	12,800	25,600	51,200
CTV US\$											
CO ₂ Ton	50	100	200	400	800	1,600	3,200	6,400	12,800	25,600	51,200
Biomasa Ton											
Costo Operativos US\$	36,000	108,000	324,000	972,000	2,916,000	8,748,000	26,244,000	78,732,000	236,196,000	708,588,000	
Bosque Hec	12	36	108	324	972	2,916	8,748	26,244	78,732	236,196	708,588
CO ₂ Ton	12	36	108	324	972	2,916	8,748	26,244	78,732	236,196	708,588
Biomasa Ton	6	18	54	162	486	1,458	4,374	13,122	39,366	118,098	354,294
SALIDA / AÑO	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Throughput US\$	154,080	462,240	1,386,720	4,160,160	12,480,480	37,441,440	112,324,320	336,972,960	1,010,918,880	3,032,756,640	
Inversión	50,000	100,000	200,000	400,000	800,000	1,600,000	3,200,000	6,400,000	12,800,000	25,600,000	51,200,000
Otro ingresos	108,000	324,000	972,000	2,916,000	8,748,000	26,244,000	78,732,000	236,196,000	708,588,000	2,125,764,000	
CO ₂ Ton	18	54	162	486	1,458	4,374	13,122	39,366	118,098	354,294	1,062,882
Biomasa Ton	-	144	432	1,296	3,888	11,664	34,992	104,976	314,928	944,784	2,834,352
Utilidad Neta US\$	112,320	336,960	1,010,880	3,032,640	9,097,920	27,293,760	81,881,280	245,643,840	736,931,520	2,210,794,560	
CO ₂ Ton	18	54	162	486	1,458	4,374	13,122	39,366	118,098	354,294	1,062,882
Biomasa Ton	-	6	126	378	1,134	3,402	10,206	30,618	91,854	275,562	826,686
Neto Acumulado U\$	50,000	262,320	799,280	2,210,160	6,042,800	16,740,720	47,234,480	135,515,760	393,959,600	1,156,491,120	3,418,485,680
Bosque Hec	12	36	108	324	972	2,916	8,748	26,244	78,732	236,196	708,588
CO ₂ Ton	1,628	4,902	14,624	43,590	130,088	388,782	1,163,264	3,483,510	10,437,848	31,288,062	93,813,104
Biomasa Ton	-	6	120	498	1,632	5,034	15,240	45,858	137,712	413,274	1,239,960

Impacto Ambiental, Social e Internacional

El sistema ATA no solo es ambientalmente sostenible, sino que además **desarrolla** el bosque amazónico, proporcionando beneficios sociales significativos. Involucra a las comunidades locales en la gestión activa y responsable de los recursos naturales, generando empleo y fortaleciendo las capacidades locales. El turismo vivencial y la comercialización de productos endémicos del bosque, además de los bonos de carbono, ofrecen fuentes de ingresos que aseguran el bienestar económico de las comunidades. Además, este modelo tiene el potencial de atraer **acción internacional**, convocando a la cooperación global para participar activamente en el desarrollo de la Amazonía, contribuyendo al restablecimiento del balance de materia, energía y materia viva en el planeta.

Impacto la Evaluación Exergética Proyectiva del Modelo ATA

En resumen, la evaluación exergética proyectiva demuestra que el modelo ATA es una solución viable para **desarrollar** el bosque amazónico de manera sostenible, creando un ciclo de regeneración y crecimiento continuo del ecosistema. Este modelo no solo busca preservar el bosque, sino también aprovechar sus recursos de manera eficiente, transformando los impactos negativos en positivos y asegurando el bienestar de las comunidades a largo plazo. Al integrar diversas fuentes de valor como la captura de carbono, el turismo vivencial y la recolección de productos sostenibles, este sistema puede detener la deforestación y revertir el daño ambiental en un plazo de 10 años, transformando el manejo forestal en un modelo económicamente rentable y ecológicamente beneficioso, con un **impacto global positivo**.

Este modelo, desarrollado en una **tesis de maestría en 2022 y presentado en el congreso IEOM 2023** por Lu-Chang-Say, propone un enfoque innovador que no solo busca preservar el bosque amazónico, sino también desarrollar su **potencial económico, social y ecológico**. Al integrar el capital humano, natural y económico, el modelo asegura la sostenibilidad a largo plazo y contribuye al **restablecimiento del balance materia-energía-materia viva** del planeta. Las prácticas implementadas no solo garantizan la **regeneración natural**, sino que la **potencian**, permitiendo que el bosque amazónico se desarrolle y continúe siendo una fuente vital de recursos y beneficios para el planeta y sus habitantes.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

6.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

6.1.1 APLICANDO SIMULACIÓN DE PROCESOS ESTOCASTICOS DISCRETOS

Al realizar simulaciones y proyectar datos de tendencias y escenarios en una matriz insumo-producto compuesta por las dimensiones Planeta (Pa), Personas (Pe), Procesos (Po) y Provecho (Pr), utilizando las tablas de Leóntiev y las cadenas de Márkov (como se muestra en las Tablas 19 a 22), se analiza el impacto del factor humano en el desarrollo de estos factores para mejorar la competitividad. Esta simulación permite validar y evaluar las posibles políticas públicas y su impacto, además de analizar el efecto transversal de las tecnologías y metodologías implementadas en los resultados deseados. El modelo propuesto se define utilizando las 9 P's, las cuales constituyen el marco lógico de la simulación de procesos estocásticos discretos y su efecto en la productividad total de los factores, incluyendo la capacidad de generar cambios en el Planeta, las Personas, los Procesos y los Provechos.

Gráficamente, los cuatro factores se representan en las Figuras 17 y 25, donde Pa se refiere al planeta, Pe al factor humano, Po al proceso de trabajo o transformación, y Pr al provecho. Aplicando cadenas de Márkov, se calcula el estado estable de dicho escenario, que representa el estado final o de equilibrio. Se asignan valores de 30% y 70% a cada factor y se observan los resultados. Estos valores pueden determinarse mediante encuestas, paneles de expertos o simulaciones, y representan la influencia relativa de cada factor en la situación analizada

6.1.2 ANALISIS DE RESULTADO DE SIMULACIONES DE ESCENARIO

De los resultados de las simulaciones, podemos concluir lo siguiente:

- En las dos primeras matrices, aunque se observa una tendencia general a priorizar la producción y el provecho económico, el factor humano (Pe) sigue siendo determinante en el consumo de recursos.
- En las cuatro últimas matrices, el factor humano es claramente el que tiene mayor influencia en los otros factores, determinando la tendencia natural del sistema. Esta influencia afecta la eficiencia y efectividad en la consecución de los resultados esperados.
- En términos económicos, se puede diferenciar claramente entre crecimiento y desarrollo (Figura 19). El crecimiento económico no necesariamente implica un desarrollo humano sostenible. Si bien el provecho puede aumentar al incrementar el consumo, si no se mejora la calidad de vida de las personas ni se reduce el consumo excesivo de recursos naturales (Pa), el resultado final será una degradación de los recursos naturales

TABLA 29: PROSPECTIVA DE FACTORES CLAVES, ESCENARIO 4

$T = \begin{bmatrix} 0.3000 & 0.7000 & 0 & 0 \\ 0.3000 & 0.6000 & 0.0900 & 0.0100 \\ 0 & 0.9000 & 0.0900 & 0.0100 \\ 0 & 0.9000 & 0.0100 & 0.0900 \end{bmatrix};$	$T^5 \text{ ans} = \begin{bmatrix} 0.2784 & 0.6495 & 0.0643 & 0.0078 \\ 0.2784 & 0.6494 & 0.0643 & 0.0078 \\ 0.2781 & 0.6497 & 0.0643 & 0.0079 \\ 0.2781 & 0.6497 & 0.0643 & 0.0079 \end{bmatrix}$
$T = \begin{bmatrix} 0.7000 & 0.3000 & 0 & 0; \\ 0.6000 & 0.3000 & 0.0900 & 0.0100; \\ 0 & 0.9000 & 0.0900 & 0.0100; \\ 0 & 0.9000 & 0.0100 & 0.0900; \end{bmatrix};$	$T^9 \text{ ans} = \begin{bmatrix} 0.6429 & 0.3214 & 0.0318 & 0.0039 \\ 0.6429 & 0.3214 & 0.0318 & 0.0039 \\ 0.6428 & 0.3214 & 0.0318 & 0.0039 \\ 0.6428 & 0.3214 & 0.0318 & 0.0039 \end{bmatrix}$

6.1.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS, EN LA EVALUACIÓN EXERGÉTICA

La evaluación exergética y proyectiva, al ser aplicada a un modelo ATA (Aldea Tambo en la Amazonía), arroja resultados excepcionales en términos de sostenibilidad y generación de valor. Al igual que un flujo de caja, esta análisis considera no solo los beneficios económicos inmediatos, sino también los ingresos marginales derivados de procesos sostenibles donde no se genera huella de carbono. De hecho, uno de los grandes aportes del modelo ATA es que se logra la captura continua de carbono, lo que convierte a estas aldeas en sumideros de carbono, contribuyendo activamente a la mitigación del cambio climático.

Además, los productos obtenidos de la biomasa, como alimentos y energía, generan un valor significativo. Algunos productos específicos de la biomasa, como las semillas de árboles valiosos como la caoba, poseen un alto valor en el mercado, lo que añade una dimensión económica considerable al proyecto. Por otro lado, actividades como el turismo vivencial también pueden convertirse en fuentes sostenibles de ingresos, sin implicar un consumo de recursos naturales, sino basándose en la experiencia y la conservación del entorno natural.

La evaluación exergética se basa en la materia viva generada y la energía capturada a través de los procesos naturales como la fotosíntesis, lo que genera un saldo neto positivo en términos energéticos y ambientales. En este sentido, los resultados de este análisis muestran que el modelo ATA es un ejemplo innovador y altamente replicable de cómo generar ingresos y beneficios marginales sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas locales.

El desafío principal, sin embargo, radica en lograr que los pobladores de las localidades amazónicas adopten plenamente este modelo. La implementación del modelo ATA no solo ofrece beneficios económicos, sino que también crea una oportunidad para que las comunidades locales se conviertan en guardianes del medio ambiente, generando valor de manera sostenible para las generaciones presentes y futuras, como lo muestra la Tabla 30, 31 y 32.

Cabe señalar que bajo el Título “Referential strategic socioeconomic business model, to increase competitiveness by sustainable development of Amazon Forest” se publicó artículo en IEOM 2023, donde se explica y desarrolla una síntesis de esta opción (Anexo 3).

TABLA 30: TIR DE UN ATA

	AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TIR Económico	88%	- 50,000	44,160	44,160	44,160	44,160	44,160	44,160	44,160	44,160	44,160	44,160
TIR Financiero	43%	-100,000	44,160	44,160	44,160	44,160	44,160	44,160	44,160	44,160	44,160	44,160
TIR Social	43%	-100,000	44,172	44,172	44,172	44,172	44,172	44,172	44,172	44,172	44,172	44,172
TIR Ambiental	2735%	- 68	1,922	156	156	156	156	156	156	156	156	156

Elaboración Propia

TABLA 31: TIR PROGRAMA ATA

	Año	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TIR Económico	424%	- 50,000	112,320	336,960	1,010,880	3,032,640	9,097,920	27,293,760	81,881,280	245,643,840	736,931,520	2,210,794,560
TIR Financiero	307%	- 100,000	112,320	336,960	1,010,880	3,032,640	9,097,920	27,293,760	81,881,280	245,643,840	736,931,520	2,210,794,560
TIR Social	307%	- 100,000	112,332	336,996	1,010,988	3,032,964	9,098,892	27,296,676	81,890,028	245,670,084	737,010,252	2,211,030,756
TIR Ambiental	2853%	- 68	1,880	3,454	8,634	24,056	70,204	208,530	623,390	1,867,852	5,601,120	16,800,806

Elaboración Propia

TABLA 32: FLUJO PROYECTADO DE IMPACTOS

SOCIOECONÓMICO POSITIVO					
Indicadores/año	UNIDAD	Línea Base	1	5	10
Pobreza, anemia, desnutrición, analfabetismo, conflictos sociales (población intervenida)	%	40%	0	0	0
< del 1% desempleo (población intervenida)	%	5%	0	0	0
Nivel de educación dentro de los mejores de Latinoamérica	PISA				
Anualmente duplicar las hectáreas recuperadas de bosque natural en la amazonia.	Hectáreas	0	12	10k	200k
Anualmente, duplicar el número de comunidades, que al menos recuperan 12 hectáreas de bosque natural, anualmente	Numero de Comunidades	0	3	100	1000
Hectáreas deforestadas en la Amazonía.	Hectáreas	150K	12	10k	200k
Anualmente, al menos dejar de emitir 10 Ton de Carbono, por hectárea de bosque intervenida con el modelo propuesto	Toneladas	0	120	100k	2M
Ingreso Total, al menos US\$3,000 de Ingresos anuales, por hectárea de bosque en desarrollo intervenida con el Modelo de negocio propuesto	S/.	0	36K	30M	600M
Throughput de la Huella de Carbono (CO ₂) ton.	Toneladas	< 0	120	100k	2M
Throughput de (S/. y Ton/kg). de Biomasa como producto del bosque	S/.	< 0	36K	30M	600M
% de asistente y participantes a eventos y talleres de presentación, del modelo propuesto, referencia y recomiendan su adopción	%	0	50%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia

6.1.4 ANÁLISIS INFERENCIAL, CONSTRATACIÓN Y/O PRUEBA DE HIPÓTESIS

El uso de Matlab y Simulink para la simulación de procesos estocásticos discretos permite validar diversas propuestas de intervención, ajustando los factores que impactan las dimensiones clave: Planeta, Personas, Procesos y Provecho. Estas simulaciones son fundamentales para mejorar la competitividad de los peruanos en innovación y desarrollo sostenible. La validación de hipótesis a través de estos modelos facilita la toma de decisiones informadas, garantizando que las políticas y estrategias propuestas tengan un impacto positivo en el desarrollo económico abierto y sostenible.

6.2. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El uso de Matlab y Simulink, aunque no ofrece ejemplos específicos de simulación de procesos estocásticos discretos, puede adaptarse para este fin utilizando algoritmos y módulos existentes. Partiendo de un algoritmo básico, como el simulador de control automático del ambiente, es posible reconfigurarlo para que el modelo se ajuste a la realidad y permita predecir el impacto en las dimensiones Planeta, Personas, Procesos y Provecho (C4P).

En la TABLA 22, 23 y 24 se presentan tres escenarios de gestión estratégica de bioenergía sostenible (GEBS):

- **Escenario 1: Modelo Lineal Tradicional.** Este modelo refleja un consumo progresivo de los recursos del planeta, lo que lleva a una degradación ambiental insostenible. El enfoque lineal en la producción y el provecho ignora los límites planetarios y la capacidad de regeneración de los recursos naturales.
- **Escenario 2: Implementación Parcial de la Economía Circular.** Se observa una mejora en la gestión de procesos y en los beneficios marginales, pero sin un cambio significativo en el consumo de las personas. Aunque los procesos son más eficientes, el impacto en el planeta sigue siendo elevado.
- **Escenario 3: Modelo Sostenible con Reducción de Consumo Marginal.** En este escenario, se han implementado reducciones en el consumo de recursos en todas las dimensiones. El resultado es un modelo sostenible, donde el impacto en el planeta es mínimo y las prácticas de economía circular se adoptan plenamente.

La Figura 11 ilustra cómo las cadenas de Márkov proyectan los estados de transición hacia un consumo marginal casi nulo. Este modelo sugiere que la adopción de la economía circular y la reducción de drenajes (despilfarros, residuos y emisiones) con impacto negativos al ambiente, son fundamentales para alcanzar la sostenibilidad a largo plazo.

6.3. IMPACTO Y APLICACIONES PRÁCTICAS DEL ESTUDIO

El análisis exergético aplicado a la huella de carbono Tabla 30, 31 y 32 es uno de los principales aportes de esta investigación. A través de la evaluación de la energía útil generada y consumida en los procesos de desarrollo sostenible, se establece un balance de materia y energía que permite cuantificar la eficiencia y sostenibilidad de las intervenciones. Este análisis se basa en la equivalencia **HC=MVC** (Huella de Carbono = Materia Viva Consumida), un concepto clave para mitigar los efectos del cambio climático. Según este principio, cada kilogramo de CO₂ capturado debe compensarse con la generación de un kilogramo de biomasa, logrando así un balance ambiental positivo.

Aplicación del ROP (Rendimiento Operativo de Procesos)

El **ROP**, basado en la metodología de la Teoría de Restricciones (TOC), se integra en los modelos de simulación para evaluar la eficiencia de los procesos de **IP.IDEAS.S**. Se calcula a partir del throughput del sistema, que mide el flujo de energía y materia viva generada, y el Consumo Marginal (CM), que refleja el uso de los recursos naturales. Esto permite medir la competitividad de los procesos en las dimensiones de **Planeta, Personas, Procesos y Provecho (Pa, Pe, Po, Pr)**, proporcionando una visión integral de la sostenibilidad.

Balance Materia-Energía y Minimización de la Entropía

El enfoque exergético no solo se centra en la creación de valor, sino también en la minimización de la entropía, es decir, la pérdida de energía y materia en los sistemas. La entropía es un indicador de ineficiencia, y su reducción es fundamental para garantizar la sostenibilidad de los ciclos. Al aplicar las cadenas de Márkov, se proyectan escenarios futuros que muestran cómo la entropía debe converger hacia un estado más estable y equilibrado, optimizando la sostenibilidad de los procesos.

Modelos de Referencia

La investigación ha tenido un impacto significativo al desarrollar y aplicar modelos

clave dentro de **IP.IDEAS.S**. El **Modelo de 9 Pilares para la Gestión Estratégica de Procesos Sostenibles (M9PGEPS)**, representado en la **Figura 21**, es esencial para la optimización de los procesos. Este modelo articula de manera sinérgica los procesos estratégicos, participativos y operativos, asegurando que la creación de valor esté alineada con la sostenibilidad económica, social y ambiental.

El **Modelo de Economía Circular**, ilustrado en la **Figura 18**, complementa al **M9PGEPS**, integrando principios de circularidad para maximizar la reutilización de recursos y minimizar los impactos negativos, mientras optimiza los beneficios marginales de los sistemas y hace que la creación de valor sea cada vez más sostenible.

El **Modelo de Desarrollo del Capital**, presentado en la **Figura 19**, demuestra cómo la gestión de los capitales económicos, sociales y ambientales se interrelaciona en **IP.IDEAS.S**, asegurando que los proyectos sean viables y generen beneficios tangibles para la sociedad y el medio ambiente Tabla 30, 31 y 32.

El **Modelo de Creación de Valor en las Organizaciones**, reflejado en la **Figura 15**, detalla las etapas de creación de valor y la retroalimentación continua, asegurando que las organizaciones sean adaptables, innovadoras y sostenibles a largo plazo.

Todos estos modelos se evalúan con los **Indicadores ROP**, como se muestra en la **Figura 16**, los cuales pueden calcularse a partir de juicios de expertos o extrapolarse de la información contable y financiera. Los **Indicadores ROP** son esenciales para proyectar, controlar y evaluar las operaciones, optimizando el uso de recursos y maximizando los beneficios marginales. De este modo, los procesos se alinean con los objetivos estratégicos y se mantienen dentro de las restricciones físicas de la naturaleza a lo largo del ciclo de vida operativo.

Sostenibilidad y Cadenas de Márkov

La aplicación de las cadenas de Márkov permite modelar y proyectar el comportamiento de los sistemas a lo largo del tiempo, estableciendo escenarios que aseguran la sostenibilidad. Los modelos propuestos en esta tesis, permiten visionar los efectos futuros Tabla 30, 31 y 32, para ajustar las estrategias, que permitan reducir la incertidumbre, en función de los cambios del entorno, equilibrando así las interacciones entre la naturaleza y la sociedad.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

Cumplimiento del objetivo general: Esta investigación ha logrado avances significativos en la Ingeniería de Procesos de Innovación, Desarrollo y Emprendimiento para la Actuación Social y Sostenible (I.IDEAS.S), centrados en el desarrollo sostenible de la Amazonía del Perú. Mediante la implementación del Modelo de Gestión Estratégica de Procesos Sostenibles (M9PGEPS), se ha demostrado que es posible generar impactos positivos en cada unidad de consumo marginal, contribuyendo tanto al bienestar de la población local como al equilibrio global del planeta.

Contribuciones a la ingeniería de procesos: Se ha aportado de manera notable a la optimización de los procesos sostenibles, con un enfoque en maximizar los beneficios marginales y minimizar el uso irresponsable de los recursos naturales. El estudio propone un cambio en las métricas tradicionales, desplazando los indicadores monetarios hacia unidades de medida basadas en energía, materia y biomasa, lo que mejora la eficiencia y sostenibilidad de las intervenciones.

Mitigación del cambio climático mediante la equivalencia HC=MVC: Uno de los aportes centrales es la propuesta de la equivalencia HC=MVC, que establece que 1 kg de CO₂ debe ser compensado con la generación de 1 kg de biomasa. Este enfoque endotérmico, que toma como base procesos como la fotosíntesis, provee una fórmula clara para mitigar el cambio climático y gestionar la huella de carbono de manera más efectiva.

Aplicación del ROP (Rendimiento Operativo de Procesos): El estudio también ha demostrado cómo el Rendimiento Operativo de Procesos (ROP), basado en la Teoría de Restricciones (TOC), optimiza el flujo de energía y Materia Viva Consumida en los procesos sostenibles de IDEAS. El ROP permite evaluar la competitividad de los procesos, midiendo el throughput del sistema y el Consumo Marginal (CM), proporcionando una visión integral de la sostenibilidad desde las dimensiones del Planeta, las Personas, los Procesos y el Provecho (Pa, Pe, Po, Pr).

Minimización de la entropía y balance materia-energía: El enfoque exergético ha permitido no solo la generación de valor, sino también la reducción de la entropía, un indicador clave de ineficiencias en los sistemas. La minimización de la entropía asegura que los procesos sostenibles tiendan hacia un estado más equilibrado y eficiente en el uso de recursos naturales, garantizando su sostenibilidad a largo plazo.

Crítica a los indicadores monetarios tradicionales: Esta investigación ha resaltado la insuficiencia de los indicadores monetarios como medida única de valor, demostrando cómo este enfoque ha llevado a un uso ineficiente de los recursos y ha contribuido a su degradación. Se propone el uso de indicadores basados en el balance de energía, materia y biomasa para una gestión más responsable y sostenible de los recursos naturales.

Proyecciones y simulaciones mediante cadenas de Márkov: La aplicación de las cadenas de Márkov ha permitido modelar y prever el comportamiento futuro de los sistemas sostenibles. Estas simulaciones proyectan escenarios donde los sistemas convergen hacia un estado estable de sostenibilidad, lo que proporciona un marco sólido para la toma de decisiones estratégicas en políticas públicas y empresariales.

Diferencia entre crecimiento y desarrollo económico: El estudio refuerza la importancia de diferenciar entre crecimiento económico y desarrollo. Mientras que el crecimiento puede resultar en el despilfarro de recursos, el verdadero desarrollo se enfoca en maximizar el bienestar social y ambiental, promoviendo un uso más racional y sostenible de los recursos naturales.

Evaluación de la huella de carbono: El análisis de la huella de carbono en las simulaciones estocásticas ha sido un componente clave de esta investigación. Los resultados muestran que el throughput planetario depende directamente de la acción

humana, lo que subraya la importancia de una gestión eficiente de los recursos para maximizar los resultados sostenibles y mitigar los impactos ambientales..

7.2 RECOMENDACIONES

FIGURA 32:
LA RESPONSABILIDAD DE TODOS EN LA SOCIEDAD CON EL PLANETA



Desarrollo de campañas de sensibilización y empoderamiento: Como se presenta en la Figura 32, es fundamental que los ingenieros asuman la responsabilidad por los impactos de los productos y procesos que diseñan y gestionan sobre las personas y el planeta. Se recomienda desarrollar campañas que promuevan la sensibilización y empoderamiento de los profesionales de la ingeniería, con el fin de fomentar prácticas sostenibles que no solo generen beneficios, sino que también detengan y reviertan la degradación ambiental.

Implementación de la INGENIERÍA, PARA PROCESOS DE INNOVACIONES Y DESARROLLOS, CON EMPRENDIMIENTOS Y ACTUACIONES SOCIALES SOSTENIBLES (IP.IDEAS.S): Este modelo de ingeniería representa un ejemplo a seguir, especialmente en el contexto peruano, donde la recuperación ambiental es prioritaria. Se recomienda promover, difundir y adaptar el modelo IP.IDEAS.S a nivel global, asegurando que cada implementación responda a las necesidades específicas de cada contexto local.

Fomentar la aplicación del HC=MVC, BMEHC (Balance de Materia y Energía de la Huella de Carbono) y análisis energético. Se recomienda fomentar la implantación del concepto HC=MVC (Huella de Carbono = Materia Viva Consumida) como un estándar para compensar las emisiones de CO₂, estableciendo que 1 kg de CO₂ debe ser compensado con 1 kg de biomasa. Este enfoque asegura una evaluación clara y cuantificable de los impactos ambientales. Asimismo, es crucial aplicar un balance de materia y energía para realizar una evaluación exergética más precisa de la huella de carbono, permitiendo medir la eficiencia energética y material de los procesos y optimizar su sostenibilidad. Este enfoque ofrece una forma más integral y detallada de entender y mitigar el impacto ambiental.

Fomentar la adopción del ciclo operativo CEPA y M9PGESP (Modelo de 9 Pilares para la Gestión Estratégica de Procesos Sostenibles): Se recomienda fomentar la adopción del ciclo operativo CEPA (Cuantificar, Entender, Planificar y Actuar) como una alternativa más alineada con los principios de sostenibilidad en comparación con el ciclo PODC (Planificar, Organizar, Dirigir y Controlar). CEPA proporciona una comprensión profunda del contexto de intervención y una evaluación precisa del impacto de cada acción, lo que permite a los ingenieros actuar con una visión clara y estratégica. Asimismo, el M9PGESP articula sinérgicamente los procesos estratégicos, participativos y operativos, ofreciendo un marco completo que facilita la integración de todos los actores y recursos en la gestión sostenible. La adopción conjunta de CEPA y M9PGESP en los programas educativos de ingeniería asegurará que los profesionales sean capaces de diseñar y gestionar proyectos que maximicen el valor en términos sociales, ambientales y económicos, promoviendo un impacto positivo y sostenible.

Formulación y evaluación de modelos de negocio sostenibles en proyectos de tesis: Es esencial que los proyectos de tesis en las facultades de ingeniería incorporen el análisis de modelos de negocio utilizando los 9 pilares del Modelo Estratégico de Negocios Socioeconómico (MENS). Esto garantizará que las soluciones propuestas sean sostenibles y generen un impacto positivo tanto en la sociedad como en el medio ambiente.

Desarrollo de cursos electivos sobre sostenibilidad: Se recomienda crear cursos electivos basados en la metodología presentada en esta tesis, tanto para estudiantes de pregrado como de posgrado. Estos cursos permitirán a los alumnos desarrollar

proyectos de Acción Tecnológica Aplicada (ATA), adaptando soluciones sostenibles a diferentes contextos locales.

Creación de un diplomado en innovación y desarrollo sostenible: Se sugiere que el Colegio de Ingenieros del Perú y la Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas (FIIS) implementen un diplomado que abarque los principios de innovación y desarrollo sostenible desarrollados en esta tesis. Esto permitirá actualizar y capacitar a los ingenieros en prácticas sostenibles, promoviendo su adopción en diferentes sectores.

Desarrollo de proyectos de Acción Tecnológica Aplicada (ATA): Es fundamental fomentar el desarrollo de proyectos de ATA en diversas regiones del país, ajustando las soluciones tecnológicas a las necesidades locales específicas, considerando factores culturales, socioeconómicos y ambientales. Estos proyectos permitirán una mejor adaptación de la tecnología sostenible a los contextos locales.

Revisión y actualización continua de prácticas sostenibles: Finalmente, se recomienda realizar una revisión y actualización constante de los principios y metodologías de sostenibilidad. Esto asegurará que las prácticas enseñadas y aplicadas estén alineadas con los avances más recientes en el campo, preparando a los ingenieros para enfrentar los desafíos ambientales futuros con mayor eficacia

REFERENCIAS

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

- Adams, F., Gangnes, B., & Shachmurove, Y. (2006, February). Why is China so Competitive? Measuring and Explaining China's Competitiveness. *The World Economy*, 29(2), 95–122. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9701.2006.00773.x>
- Albers, A., Lanza, G., Klippert, M., Schäfer, L., Frey, A., Hellweg, F., Müller-Welt, P., Schöck, M., Krahe, C., Nowoseltschenko, K., & Rapp, S. (2022). Product-Production-CoDesign: An Approach on Integrated Product and Production Engineering Across Generations and Life Cycles. *Procedia CIRP*, 109, 167-172. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.231>
- Álvarez, M. J., Inche, M. J., & Gerardo, S. (2014). Programación de operaciones mediante la teoría de restricciones. Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Disponible en <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/idata/article/view/6095>
- Amiraslani, F. (2021). Rising to the top ten transformative projects in Asia and the Pacific: A stakeholder analysis of the community-based carbon sequestration project in Eastern Iran. *Project Leadership and Society*, 2, 100030. <https://doi.org/10.1016/j.plas.2021.100030>
- Belmonte, L., Segura, E., López de la Rosa, F., Gómez-Sirvent, J., Fernández-Caballero, A., & Morales, R. (2023). Training industrial engineers in Logistics 4.0. *Computers & Industrial Engineering*, 184, 109550. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109550>
- Benini, L., Leroy, Y., Tolio, T., & Magnanini, M. (2022). Proposal of a strategic model to unlock the circular potential in industrial practice. *Procedia CIRP*, 109, 233-238. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.242>
- Bilge, P., Seliger, G., Badurdeen, F., & Jawahir, I.S. (2016). A Novel Framework for Achieving Sustainable Value Creation Through Industrial Engineering Principles. *Procedia CIRP*, 40, 516-523. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.126>

- Bilgen, S., & Sarıkaya, İ. (2015). Exergy for environment, ecology and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1115-1131.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.015>
- Bollen, J., Ten Thij, M., Breithaupt, F., Barron, A. T., Rutter, L. A., Lorenzo-Luaces, L., & Scheffer, M. (2021). Historical Language Records Reveal a Surge of Cognitive Distortions in Recent Decades. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(30), e2102061118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2102061118>
- Bringezu, S., Ramaswami, A., Schandl, H., O'Brien, M., Pelton, R., Acquatella, J., Ayuk, E., et al. (2017). Assessing Global Resource Use: A System Approach to Resource Efficiency and Pollution Reduction. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Panel Internacional de Recursos, Nairobi.
<https://www.resourcepanel.org/reports/assessing-global-resource-use>
- Checkland, P. (2012). *Pensamiento de Sistemas: Práctica de Sistemas*. México: LIMUSA.
https://www.academia.edu/6036861/Pensamiento_de_Sistemas_Practica_de_Sistemas_Peter_Checkland
- Checkland, P., & Poulter, J. (2010). Soft systems methodology. In *Systems approaches to managing change: A practical guide* (pp. 191-242). London: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-84882-809-4_7
- Chen, B., Dai, J., & Sciubba, E. (2014). Ecological accounting for China based on extended exergy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 334-347.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.022>
- Chu, Z., Yu, J., & Hamdull, A. (2020). Maximum Sustainable Throughput Evaluation Using an Adaptive Method for Stream Processing Platforms. *IEEE Access*, 8, 40977-40988. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2976738>
- Cejudo, R. (2006). Desarrollo humano y capacidades. Aplicaciones de la teoría de las capacidades de Amartya Sen a la educación. Universidad de Córdoba, *Revista Española de Pedagogía*, 64(234), 365-380.
- Ceplan (2023). Análisis de la deforestación y pérdida de vegetación a nivel nacional y el impacto a nivel regionales.
https://geo.ceplan.gob.pe/uploads/Analisis_deforestacion.pdf
- Colabianchi, S., Tedeschi, A., & Costantino, F. (2023). Human-technology integration with industrial conversational agents: A conceptual architecture and a

- taxonomy for manufacturing. *Journal of Industrial Information Integration*, 35, 100510. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2023.100510>
- Coldwell, D. (2000). The question of international competitiveness. *International Advances in Economic Research*, 6(3), 417-426. <https://doi.org/10.1007/BF02294961>
- Colim, A., Carneiro, P., Carvalho, J., & Teixeira, S. (2022). Occupational Safety & Ergonomics training of Future Industrial Engineers: a Project-Based Learning Approach. *Procedia Computer Science*, 204, 505-512. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.08.119>
- Constable, D.J.C., Gonzalez, M., & Morton, S.A. (2016). Towards More Sustainable Chemical Engineering Processes: Integrating Sustainable and Green Chemistry Into the Engineering Design Process. In G. Ruiz-Mercado & H. Cabezas (Eds.), *Sustainability in the Design, Synthesis and Analysis of Chemical Engineering Processes* (pp. 1-34). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802032-6.00001-3>
- COP28 (2023, Noviembre 30). Acuerdo sobre el fondo de pérdidas y daños. Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2023/11/1526067>
- Díaz-Chao, A., Sainz-González, J., & Torrent-Sellens, J. (2016). The competitiveness of small network-firm: A practical tool. *Journal of Business Research*, 69, 1769-1774. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2015.10.056>
- Disselkamp, J.-P., Cieply, J., Dyck, F., Grothe, R., Anacker, H., & Dumitrescu, R. (2023). Integrated product and production development - a systematic literature review. *Procedia CIRP*, 119, 716-721. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.06.198>
- Duttagupta, S., & Nambiar, M. (2012). Maximum throughput computation of an application in a multi-tier environment. *International Symposium on Performance Evaluation of Computer & Telecommunication Systems (SPECTS)*, Genoa, Italy, 1-7. <https://doi.org/10.1109/SPECTS.2012.6267018>
- Ellis, E. C. (2019). Sharing the Land between Nature and People. *Science*, 364(6447), 1226-1228. <https://doi.org/10.1126/science.aax2608>
- Ellis, E. C. (2021). Land Use and Ecological Change: A 12,000-Year History. *Annual Review of Environment and Resources*, 46, 1-33. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-010822>

- Ellis, E. C. (2022). Anthropocene Opportunities: Guiding the Evolution of Social-Ecological Development. *Royal Society Open Science*, 9(6), 211640.
<https://doi.org/10.1098/rsos.211640>
- Ellis, E. C., Gauthier, N., Goldewijk, K. K., Bird, R. B., Boivin, N., Díaz, S., Fuller, D. Q., et al. (2021). People Have Shaped Most of Terrestrial Nature for at Least 12,000 Years. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(17), e2023483118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2023483118>
- Elhacham, E., Ben-Uri, L., Grozovski, J., Bar-On, Y. M., & Milo, R. (2020). Global Human-Made Mass Exceeds All Living Biomass. *Nature*, 588(7838), 442-444.
<https://doi.org/10.1038/s41586-020-3010-5>
- Elia, G., Margherita, A., & Passiante, G. (2021). Management Engineering: A New Perspective on the Integration of Engineering and Management Knowledge. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 68(3), 881-893.
<https://doi.org/10.1109/TEM.2020.2992911>
- Elkington, J., & Rowlands, I. H. (1999). Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business. *Alternatives Journal*, 25(4), 42.
<https://www.proquest.com/openview/804cc9d98196ef6e26d88748e89f8db0/1?pq-origsite=gscholar&cbl=35934>
- EMF-Ellen MacArthur Foundation. (2013). Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition. Cowes, UK.
- Fischer, F., & Forester, J. (1993). Front Matter. In *The Argumentative Turn in Policy Analysis and Planning* (pp. i–vi). Duke University Press.
<https://doi.org/10.2307/j.ctv1220k4f.1>
- Flaka, O., & Glódb, G. (2015). Verification of the relationships between the elements of an integrated model of competitiveness of the company. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 207, 608-631. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.10.133>
- Forrester, J. W. (1995). Counterintuitive behavior of social systems. *Technology Review*, 73(3), 52-68. <http://static.clexchange.org/ftp/documents/system-dynamics/SD1993-01CounterintuitiveBe.pdf>
- Fraccascia, L., & Giannoccaro, I. (2020). What, where, and how measuring industrial symbiosis: A reasoned taxonomy of relevant indicators. *Resources, Conservation and Recycling*, 157, 104799.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104799>

- Franzò, S., & Urbinati, A. (2023). Managing resource loops in circular supply chains: A taxonomy of multi-sided platforms in the B2B setting. *Industrial Marketing Management*, 115, 185-197. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2023.09.016>
- Gamer, T., Hoernicke, M., Kloepper, B., Bauer, R., & Isaksson, A. (2020). The autonomous industrial plant – future of process engineering, operations and maintenance. *Journal of Process Control*, 88, 101-110. <https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2020.01.012>
- Gomez-Echeverri, J., Dantan, J., & Godot, X. (2021). Integrated design – multi-view approach for production systems design. *Procedia CIRP*, 100, 217-222. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.05.058>
- Gomez, C., Demirkol, I., & Paradells, J. (2011). Modeling the Maximum Throughput of Bluetooth Low Energy in an Error-Prone Link. *IEEE Communications Letters*, 15(11), 1187-1189. <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2011.092011.111314>
- Han, C., Wang, G., & Yang, Y. (2023). An assessment of sustainable wellbeing and coordination of mountain areas: A case study of Qinba Mountain Area in China. *Ecological Indicators*, 154, 110674. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110674>
- Hartini, S., Wicaksono, P., Rizal, M., & Hamdi, M. (2020). Integration lean manufacturing and 6R to reduce wood waste in furniture company toward circular economy. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 823, 012019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/823/1/012019>
- Herciua, M., & Ogrea, C. (2015). Wealth, Competitiveness, and Intellectual Capital – Sources for Economic Development. *Procedia Economics and Finance*, 27, 556-566. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)01035-6](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)01035-6)
- Hernández-Mota, J. (2016). Gasto público y complementariedad productiva: un análisis de la economía mexicana, 1980-2012. *Cuadernos de Economía*, 35(67), 315-355. <https://www.redalyc.org/journal/2821/282142131011/html/>
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2015). *Introduction to operations research*. McGraw-Hill. <https://thuvienso.hoasen.edu.vn/handle/123456789/8952>
- Huffman, M., Wang, Q., & Khan, F. (2023). Analysis of sustainability metrics from a process design and operation perspective. *Process Safety and Environmental Protection*, 177, 1351-1365. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.08.001>
- Iranpour Mobarakeh, S., Sadeghi, R., Saghafi, H., & Delshad, M. (2022). Robust management and optimization strategy of energy hub based on uncertainties probability modelling in the presence of demand response programs. *IET*

- Generation, Transmission & Distribution, 16(6), 1166-1188.
<https://doi.org/10.1049/gtd2.12358>
- Institute of Industrial and Systems Engineers. (n.d.). *What is Industrial Engineering?*
 Retrieved from <https://www.iise.org/>
- Jawad, H., Jaber, M., & Nuwayhid, R. (2018). Improving supply chain sustainability using exergy analysis. *European Journal of Operational Research*, 269(1), 258-271. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.10.007>
- Jawad, H., Jaber, M., Bonney, M., & Rosen, M. A. (2016). Deriving an exergetic economic production quantity model for better sustainability. *Applied Mathematical Modelling*, 40(11-12), 6026-6039.
<https://doi.org/10.1016/j.apm.2016.01.042>
- Karatopouzis, A., Voinov, A., Kubiszewski, I., Taghikhah, F., Costanza, R., & Kenny, D. (2022). Estimating the Genuine Progress Indicator before and during the COVID pandemic in Australia. *Ecological Indicators*, 141, 109025.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109025>
- Kreiner, I., Bressers, H., & Franco-García, M.-L. (2023). Challenges to implementing a sustainable strategic evaluation framework of industrial parks: Mexican case. *Cleaner Engineering and Technology*, 13, 100612.
<https://doi.org/10.1016/j.clet.2023.100612>
- Kuo, T., Hsu, N., Li, T., & Chao, C. (2021). Industry 4.0 enabling manufacturing competitiveness: Delivery performance improvement based on theory of constraints. *Journal of Manufacturing Systems*, 60, 152-161.
<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.05.009>
- Kumar, V., Saxena, V., Kumar, R., & Kumar, S. (2023). Energy, exergy, sustainability and environmental emission analysis of coal-fired thermal power plant. *Ain Shams Engineering Journal*, 102416.
<https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102416>
- Kuznetsov, A. P., Koriath, H.-J., & Kalyashina, A. V. (2017). Comparative Integrated Manufacturing Efficiency in Production Engineering. *Procedia CIRP*, 63, 527-532.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.135>
- Kwon, G., Bhatnagar, A., Wang, H., Kwon, E., & Song, H. (2020). A review of recent advancements in utilization of biomass and industrial wastes into engineered biochar. *Journal of Hazardous Materials*, 400, 123242.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123242>

- Lazarus, E. (2018). Genuine Progress Indicator (GPI) for the United States for 1995 to 2016. Center for Work Technology and Society, Energy & Resources Group, UCB. <https://irle.berkeley.edu/research-centers/center-for-work-technology-and-society/genuine-progress-indicator-gpi/>
- Lee-Kelley, L. (2018). When 'knowing what' is not enough: Role of organized simulations for developing effective practice. *International Journal of Project Management*, 36(1), 198-207. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.08.003>
- Li, Y., & Sun, Z. (2023). Repositioning shared bikes under low-carbon policies. *Computers & Industrial Engineering*, 184, 109594. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109594>
- Lim, M. (2014, April 22). Agile vs Lean Supply Chain Management. IEOM Society International. <http://blog.procurify.com/2014/04/22/agileleansupplychainmanagement/>
- Liu, J., Goel, A., Kua, H.W., Wang, C.H., & Peng, Y.H. (2021). Evaluating the urban metabolism sustainability of municipal solid waste management system: An extended exergy accounting and indexing perspective. *Applied Energy*, 300, 117254. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117254>
- Liu, R., Lai, X., Wang, J., Zhu, X., & Liu, Y. (2023). SCR-CUSUM: An illness-death semi-Márkov model-based risk-adjusted CUSUM for semi-competing risk data monitoring. *Computers & Industrial Engineering*, 184, 109530. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109530>
- Lupi, F., Mabkhot, M., Boffa, E., Ferreira, P., Antonelli, D., Maffei, A., Lohse, N., & Lanzetta, M. (2023). Automatic definition of engineer archetypes: A text mining approach. *Computers in Industry*, 152, 103996. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2023.103996>
- Lu-Chang-Say, J., Ugarte-Gomez, J., Chambi-Quiroz, N., & Lu-Chang-Say, E. (2024). Strategic sustainable manage model, applying circular economy rate operating process: Case renewable energy, *Proceedings of LACCEI 2024*. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú. ISBN: 978-628-95207-8-1. ISSN: 2414-6390. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85203806498&origin=recordpage>.
- Lu-Chang-Say, J. (2023). Process engineering for sustainably IDEAS (Innovation, Development and Entrepreneurship to Act Social) [Ingeniería para Innovar, Desarrollar y Emprender, para Abierta Social y Sosteniblemente - IDEASS].

- Proceedings of the LACCEI International Multi-conference for Engineering, Education and Technology.* <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85172389947&partnerID=40&md5=c88f9b3c5cd1041041fa2ef36be3e013>
- Lu-Chang-Say, J. (2023). Referential strategic socioeconomic business model, to increase competitiveness by sustainable development of Amazon Forest. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM).* <https://ieomsociety.org/proceedings/2023peru/196.pdf>
- Lu-Chang-Say, J.E., 2022. *Modelo estratégico de negocio socioeconómico de referencia, para incrementar la competitividad, desarrollando sosteniblemente la Amazonía*. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.14076/22900>
- Lu-Chang-Say, J., Lu-Chang-Say, E., Zuloaga-Rotta, L., & Zarate-Otarola, B. (2018). DNA Lean Philosophy and TOC for Develop, Innovate and Improve Processes (No. 266). EasyChair. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85057508025&doi=10.18687%2fLACCEI2018.1.1.434&origin=inward&txGid=f97711cc2a08dcdde79d5fea67b0c4a0>
- Lu-Chang-Say, J. (2014). Validación de método para determinar parámetros óptimos de los procesos de unión, mediante adhesivos disponibles del mercado nacional con maderas amazónicas, para la producción de componentes de uso estructural, <http://hdl.handle.net/20.500.14076/4490>
- Maghsoudi, M., Shokouhyar, S., Khanizadeh, S., & Shokoohyar, S. (2023). Towards a taxonomy of waste management research: An application of community detection in keyword network. *Journal of Cleaner Production*, 401, 136587. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136587>
- Mahmud-Parvez, A., Wu, T., Li, S., Miles, N., & Mujtaba, I. (2018). Bio-DME production based on conventional and CO₂-enhanced gasification of biomass: A comparative study on exergy and environmental impacts. *Biomass and Bioenergy*, 110, 105-113. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.01.016>
- Meinshausen, M., Lewis, J., McGlade, C., Gütschow, J., Nicholls, Z., Burdon, R., Cozzi, L., & Hackmann, B. (2022). Realization of Paris Agreement Pledges May Limit Warming Just Below 2 °C. *Nature*, 604(7905), 304-309. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04553-z>

- Mejía-Giraldo, A., Mendieta-Cardona, P., & Bravo-Castillo, M. (2015). Estrategias de innovación y capital social en la pequeña y mediana empresa. *Ingeniería Industrial*, 36(3), 286-296. <http://scielo.sld.cu/pdf/rri/v36n3/rri06315.pdf>
- Mendoza, A., Hoz-Domínguez, E., & Visbal-Cadavid, D. (2023). Classification of industrial engineering programs in Colombia based on state tests. *Heliyon*, 9(5), e16002. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16002>
- Mehrpooya, M., Khalili, M., & Sharifzadeh, M. (2018). Model development and energy and exergy analysis of the biomass gasification process (Based on the various biomass sources). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 869-887. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.076>
- Miletzki, J., & Broten, N. (2017). *Development as Freedom*. London: Macat Library. <https://doi.org/10.4324/9781912281275>
- Mora-Riapiraa, E., Vera-Colinab, M., & Melgarejo-Molinab, Z. (2013). Planificación estratégica y niveles de competitividad de las Mipymes del sector comercio en Bogotá. *Estudios Gerenciales*, Universidad ICESI, 30(130), 233-241. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2013.07.004>
- Moraga, G., Huysveld, S., Mathieux, F., Blengini, G. A., Alaerts, L., Van Acker, K., Meester, S., & Dewulf, J. (2019). Circular economy indicators: What do they measure? *Resources, Conservation & Recycling*, 146, 452-461. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.045>
- Müller, R., Pemsel, S., & Shao, J. (2014). Organizational enablers for governance and governmentality of projects: A literature review. *International Journal of Project Management*, 32(8), 1309-1320. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.03.007>
- ONU Medio Ambiente. (2018). *Informe sobre la contaminación por plásticos en los océanos*. Recuperado de <https://www.unenvironment.org>
- OPEC (2023, Noviembre). Member Countries' historical production data. Monthly Oil Market Reports. https://www.opec.org/opec_web/en/publications/338.htm
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2020). *Informe sobre la pandemia de COVID-19*. Recuperado de <https://www.who.int>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2021). *El estado de los bosques del mundo 2021*. Recuperado de <https://www.fao.org>

- Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2010). *Business Model Generation: A handbook for visionaries, game changers and challengers*. John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. <http://www.academicjournals.org/AJBM>
- Palma-Setti, P., Canciglieri-Junior, O., & Amodio-Estorilio, C. (2021). Integrated product development method based on Value Engineering and design for assembly concepts. *Journal of Industrial Information Integration*, 21, 100199. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100199>
- Patange, G., & Jobaliya, J. (2023). Scope for problem solving in industrial engineering and management subject curriculum reform for mechanical engineers to leverage the current and upcoming situations. *Materials Today: Proceedings*, 72(3), 853-857. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.079>
- Pawar, B., Park, S., Hu, P., & Wang, Q. (2021). Applications of resilience engineering principles in different fields with a focus on industrial systems: A literature review. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 69, 104366. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104366>
- Pérez-Lobaina, Y., Bolaño-Rodríguez, Y., Adiris González-Cañedo, A., & Félix Prado-Díaz, J. (2023). Diagnóstico de la Capacidad de Gestión Energética de la Empresa Acinox Comercial. *Ingeniería Industrial*, 44(2), 175-188. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59362023000200175
- Porter, M. E. (1980). *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors*. Free Press.
- Porter, M. E. (1990). *The Competitive Advantage of Nations*. Free Press.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP). (2021). *Informe sobre desarrollo humano 2021/2022*. Recuperado de <https://www.undp.org>
- Reinhart, C. M., & Rogoff, K. S. (2010). *This time is different: Eight centuries of financial folly*. Princeton University Press.
- Rispoli, A., Verdone, N., & Vilardi, G. (2021). Green fuel production by coupling plastic waste oxy-combustion and PtG technologies: Economic, energy, exergy and CO₂-cycle analysis. *Fuel Processing Technology*, 221, 106922. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2021.106922>
- Rodríguez, G., Morillo, D., & Escobar, J. (2023). A new method for the measurement of robustness in reverse logistics supply chains based on entropy

- and nodal importance. *Computers & Industrial Engineering*, 184, 109533.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109533>
- Rose, G., Ryan, K., & Desha, C. (2015). Implementing a holistic process for embedding sustainability: A case study in first year engineering. *Journal of Cleaner Production*, 106, 229-238. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.066>
- Saidani, M., Yannou, B., Leroy, Y., Cluzel, F., & Kendall, A. (2019). A taxonomy of circular economy indicators. *Journal of Cleaner Production*, 207, 542-559.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.014>
- Sahin, I. (2006, April). Detailed Review of Rogers' Diffusion of Innovations Theory and Educational Technology-Related Studies Based on Rogers' Theory. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 5(2), 14-23.
https://www.researchgate.net/publication/284675572_Detailed_review_of_Rogers%27_diffusion_of_innovations_theory_and_educational_technology-related_studies_based_on_Rogers%27_theory
- Sala-i-Martin, X. (2009-2010). The Global Competitiveness Report. World Economic Forum.
http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2010-11.pdf
- Santos, M., & Park, S. (2013). Sustainability and biophysics basis of technical and economic processes: A survey of the reconciliation by thermodynamics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 261-271.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.006>
- Scheffer, M., van de Leemput, I., Weinans, E., & Bollen, J. (2021). The Rise and Fall of Rationality in Language. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(51), e2107848118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2107848118>
- Sciubba, E. (2011). A revised calculation of the econometric factors α - and β for the Extended Exergy Accounting method. *Ecological Modelling*, 222(4), 1060-1066.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.11.003>
- Sobrino-Vidal, E., Del Águila-Patroni, F., & Torres, M. (2022). Análisis de la deforestación y pérdida de vegetación a nivel nacional y el impacto a nivel regionales. CEPLAN.
https://geo.ceplan.gob.pe/uploads/Analisis_deforestacion.pdf
- Soltanian, S., Kalogirou, S., Ranjbari, M., Amiri, H., Mahian, O., Khoshnevisan, B., Jafary, T., Nizami, A., Gupta, V., Aghaei, S., Peng, W., Tabatabaei, M., &

- Aghbashlo, M. (2022). Exergetic sustainability analysis of municipal solid waste treatment systems: A systematic critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 156, 111975. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111975>
- Stoffels, P., Kaspar, J., Bähre, D., & Vielhaber, M. (2018). Integrated Product and Production Engineering Approach – A Tool-Based Method for a Holistic Sustainable Design, Process and Material Selection. *Procedia Manufacturing*, 21, 790-797. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.185>
- Tao, Z., & Panwar, S. (2006, April). Throughput and delay analysis for the IEEE 802.11e enhanced distributed channel access. *IEEE Transactions on Communications*, 54(4), 596-603. <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2006.873066>
- Thompson, A., & Strickland, A. J. (2004). *Administración estratégica: textos y casos* (13a ed.). McGraw-Hill. www.mhhe.com/negocios/thompson13e
- Tilsted, J., Bjørn, A., Majeau-Bettez, G., & Lund, J. (2021). Accounting matters: Revisiting claims of decoupling and genuine green growth in Nordic countries. *Ecological Economics*, 187, 107101. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107101>
- Tran, T., & Vlacic, L. (2006). Practical process control techniques training. *IFAC Proceedings Volumes*, 39(6), 241-246. <https://doi.org/10.3182/20060621-3-ES-2905.00043>
- Treviño-Elizondo, B., & García-Reyes, H. (2023). What does Industry 4.0 mean to Industrial Engineering Education? *Procedia Computer Science*, 217, 876-885. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.284>
- UNDP (2020). *Informe sobre Desarrollo Humano del Perú*. <https://hdr.undp.org/sites/default/files/Country-Profiles/es/PER.pdf>
- UNDP (United Nations Development Programme). (2022). *Human Development Report 2021-22: Uncertain Times, Unsettled Lives: Shaping our Future in a Transforming World*. New York. <https://hdr.undp.org/content/human-development-report-2021-22>
- Upham, P., Sovacool, B., & Ghosh, B. (2022). Just transitions for industrial decarbonisation: A framework for innovation, participation, and justice. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 167, 112699. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112699>
- Villanueva, R., Avelar, L., Alvarado, A., & Guadalupe, V. (2015). Selección de proveedores verde como un elemento clave en la cadena de suministro: Una

- revisión de casos de estudio. DYNA, 82(194), 36-45.
<https://doi.org/10.15446/dyna.v82n194.54466>
- Wu, H., Wang, X., Zhang, Q., & Shen, X. (2006). IEEE 802.11e Enhanced Distributed Channel Access (EDCA) Throughput Analysis. IEEE International Conference on Communications, 223-228.
<https://doi.org/10.1109/ICC.2006.254731>
- Wu, X. F., Chen, G. Q., Wu, X. D., Yang, Q., Alsaedi, A., Hayat, T., & Ahmad, B. (2015). Renewability and sustainability of biogas system: Cosmic exergy based assessment for a case in China. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 51, 1509-1524. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.051>
- Zhang, L., Lee, C., & Akhtar, P. (2020). Towards customization: Evaluation of integrated sales, product, and production configuration. International Journal of Production Economics, 229, 107775. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107775>

LIBROS Y MANUALES

- Amartya, S., & Foster, J. (2003). On Economic Inequality. Oxford Academic.
<https://doi.org/10.1093/0198281935.001.0001>
- Armijo, M. (2011, junio). Planificación estratégica e indicadores de desempeño en el sector público. Manual, CEPAL, Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES), Santiago de Chile.
<https://www.cepal.org/es/publicaciones/5509-planificacion-estrategica-indicadores-desempeno-sector-publico>
- Akao, Y. (2011). Encuentro organizado por el Club Excelencia.
<https://www.eexcellence.es/entrevistas/con-talento/yoji-akao-padre-del-qfd>
- BCRP (2023). Data PBI por sectores, PBI: Ene-2004: Sep-2023. Banco Central de Reserva del Perú, Gerencia Central de Estudios Económicos.
<https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/mensuales/pbi-por-sectores>
- BID (2004). Manual BID de proyectos. https://www.ucipfg.com/Repositorio/MIA/MIA-01/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad1/lecturas/BID_ML.pdf
- Blanchard, O. (2017). Macroeconomía (7a ed.). Pearson Educación, S. A., Madrid.
 ISBN: 978-84-9035-535-0.
https://www.academia.edu/61148487/Macroeconomia_edicion_7_blnachard_1_5

- Drucker, P. F. (2001). *The Essential Drucker: The Best of Sixty Years of Peter Drucker's Essential Writings on Management*. Harper Business.
<https://www.amazon.com/Essential-Drucker-Best-Sixty-Management/dp/0066210879>
- Drucker, P. F. (2022). *Peter Drucker on Strategic Planning*.
<https://www.peterdrucker.com/books-on-strategy/>
- Deming, W. E. (1982). *Calidad, Productividad y Competitividad. La salida de la crisis*. Díaz de Santos, S.A. ISBN: 84-87189-22-9
- Felder, R. M., & Rousseau, R. W. (2005). *Elementary Principles of Chemical Processes*. John Wiley & Sons.
https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Elementary+Principles+of+Chemical+Processes&btnG=
- Freeman, R. E. (1984). *Strategic management: A stakeholder approach*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139192675>
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2014). *Fundamentals of Physics*. Wiley.
https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Fundamentals+of+Physics&btnG=
- Hill, C. W. L., & Jones, G. R. (2012). *Strategic Management: An Integrated Approach*. Cengage Learning.
- Hrebiniak, L. G. (2005). *Making Strategy Work: Leading Effective Execution and Change*. Pearson Education.
- Indacochea, A. (2019). *Prospectiva Estratégica*.
https://www.youtube.com/watch?v=6BVycmDAPUs&ab_channel=CENTRUMPU
 CP
- IPCC (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.
<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Sixth Assessment Report: Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Recuperado de <https://www.ipcc.ch>
- IPCC (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report*.
https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf
- Kao, J. (2009). *Innovation Nation: How America Is Losing Its Innovation Edge, Why It Matters*. Free Press. <https://books.google.com/books?id=YIlfZOSShRoC>

- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1996). *The Balanced Scorecard: Translating Strategy Into Action*. Harvard Business Press.
<https://www.amazon.com/Balanced-Scorecard-Translating-Strategy-Action/dp/0875846513>
- Koontz, H., & Weihrich, H. (2010). *Essentials of Management: An International Perspective*. McGraw-Hill Education.
- Kotler, P., & Keller, K. L. (2012). *Marketing Management (14th ed.)*. Pearson Education.
- Kuhn, T. S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press. <https://materiainvestigacion.files.wordpress.com/2016/05/kuhn1971.pdf>
- Mintzberg, H. (1994). *The Rise and Fall of Strategic Planning: Reconceiving Roles for Planning, Plans, Planners*. Free Press.
- North, M. J., & Macal, C. M. (2007). *Managing Business Complexity: Discovering Strategic Solutions with Agent-Based Modeling and Simulation*. Oxford University Press. <https://books.google.com/books?id=YlIfZOSShRoC>
- Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2010). *Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*. John Wiley and Sons, Inc.
<http://www.academicjournals.org/AJBM>
- Perry, R. H., & Green, D. W. (2008). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. McGraw-Hill Education.
- Porter, M. E. (1985). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. Free Press.
- Porter, M. E. (1979). *How Competitive Forces Shape Strategy*. Harvard Business Review.
- Porter, M. E., & Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors. (1980). Free Press. <https://s3.us-east-1.amazonaws.com/storage.thanksforthehelp.com/qfile/porter-michael-e-1980-extract-competitive-strategy-vyr2a2bw.pdf>
- Robbins, S. P., & Coulter, M. (2018). *Management*. Pearson Education.
- Romer, P., & David, (2002). *Macroeconomía Avanzada*. Editorial McGraw Hill, Madrid. ISBN: 84-481-3642-X.
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., & Abbott, M. M. (2005). *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*. McGraw-Hill Education.

UNDP (2022). Informe sobre Desarrollo Humano del Perú.

<https://hdr.undp.org/sites/default/files/Country-Profiles/es/PER.pdf>

ANEXOS