

Territorial Regenerative Farming Systems in the Amazon and Andes: The ATA–LxC Engineering Framework for Carbon-Positive Biomass and Food Sustainability

Julio Lu-Chang-Say¹ , Estuardo Lu Chang-Say² 

¹Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, jluc@uni.pe

²Universidad ESAN, Perú, elu@esan.edu.pe

Abstract: This article presents the ATA System (Amazon Tambo Aldea) as a strategic regenerative platform designed to operate in high-biodiversity territories such as the Peruvian Amazon, applying LxC Engineering (Life per Carbon). This approach is grounded in the PCRC (Physicochemical Carbon Regeneration Cycle), which transforms captured CO₂ and solar energy into useful biomass, living energy, and social cohesion through thermodynamically and biologically quantifiable processes.

Using a modular intervention structure of 24 hectares per ATA unit, the model enables ecosystem restoration, job creation, and maximization of environmental, social, and economic returns without deforestation. The methodological architecture integrates the CUPA cycle (Calculate, Understand, Plan, Act), the 9SP canvas (Nine Strategic Pillars), the Value Chase (VC) adapted from QFD, and the ROP (Return of Operational Performance) indicator.

The system is validated at three levels: Technical: through indicators such as Marginal Consumption (CM), Marginal Benefit (BM), and ROP; Territorial: through projective simulations demonstrating scalability; Academic: with international recognition, including first place at IEOM 2023.

The ATA System demonstrates the feasibility of redesigning degraded territorial processes into sustainable regenerative models, enabling multicapital traceability, community participation, and measurable impact.

Keywords: LxC Regenerative Engineering; PCRC; DPAV–CUPA–ToC; 9SP–VC (Strategic Value Chase); ATA (Participatory Regenerative Model)

Sistemas Agropecuarios Regenerativos en Amazonía y Andes: Ingeniería ATA-VxC para Biomasa Carbono-Positiva y Sostenibilidad Alimentaria Territorial.

Julio Lu-Chang-Say¹ , Estuardo Lu Chang-Say² 

¹Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, jluc@uni.pe

²Universidad ESAN, Perú, elu@esan.edu.pe

Resumen - Este artículo presenta el sistema ATA (Aldea Tambo Autosustentable) como una plataforma regenerativa estratégica, diseñada para operar en territorios de alta biodiversidad como la Amazonía peruana, aplicando la Ingeniería VxC (Vida por Carbono). Esta se fundamenta en el CRFC (Ciclo Regenerativo Físico-Químico del Carbono), que transforma emisiones de CO₂ y energía solar en biomasa útil, energía viva y cohesión social, mediante procesos biofísicamente cuantificables. A través de una intervención modular de 24 hectáreas por unidad ATA, el modelo permite restaurar ecosistemas, generar empleo y maximizar retornos ambientales, sociales y económicos sin deforestación. Su arquitectura metodológica combina: el ciclo CEPA (Calcular, Entender, Planear, Actuar), el lienzo de los 9 Pilares Estratégicos (9PE), la herramienta CV (Caza del Valor, adaptada del QFD) y el indicador ROP (Rendimiento Operativo del Proceso). La validación se realiza en tres niveles: Técnico, mediante indicadores como CM, BM y ROP; Territorial, a través de simulaciones proyectivas de escalamiento; Académico, con reconocimiento internacional, incluyendo el primer puesto en el IEOM 2023. El sistema ATA demuestra que es posible rediseñar procesos territoriales hacia modelos regenerativos sostenibles, con trazabilidad multicapital, participación comunitaria e impacto mensurable.

Palabras clave: Ingeniería Regenerativa VxC; CRFC; DPAV-CEPA-ToC; 9PE-CV (Caza Estratégica del Valor); ATA (Modelo Participativo Regenerador)

I. Introducción

A más de tres décadas del **Triple Resultado** (*Triple Bottom Line*), persiste el desafío de integrar de forma efectiva las dimensiones ecológica, social y económica en marcos capaces de orientar transformaciones verificables [1]. A ello se suma la advertencia de la dinámica de sistemas: cuando el crecimiento se desacopla de la regeneración, los sistemas complejos tienden al colapso [2]. Sin embargo, muchas aproximaciones actuales a la sostenibilidad siguen siendo fragmentadas o declarativas, sin articular principios físico-químicos, diseño estratégico y métricas verificables de regeneración [3]–[5].

Frente a esta limitación, este artículo propone el enfoque **VxC (Vida por Carbono)**, desarrollado en el marco **IP.IDEAS.S** como su dimensión físico-química regenerativa [13]. Su base se encuentra en el **CRFC**, que modela la transformación del CO₂ atmosférico, el agua y la energía solar en biomasa viva y valor multicapital mediante procesos fotosintéticos medibles [14]–[16]. Sobre esta base, VxC no se plantea como una lógica de simple compensación, sino como una estrategia de diseño orientada a convertir carbono, energía y organización en vida útil y regeneración estructurada.

Metodológicamente, el enfoque se articula mediante **CEPA**, el **Lienzo de los 9 Pilares Estratégicos (9PE)**, la **Caza del Valor (CV)** y los indicadores **CM**, **BM** y **ROP**, que permiten evaluar el desempeño del sistema desde una perspectiva exérgica y multicapital. Su validación territorial se realiza a través del sistema ATA (**Aldea Tambo Autosustentable**), concebido como una unidad regenerativa para contextos amazónicos de alta biodiversidad y vulnerabilidad socioambiental [13], [18]–[20]. El estudio examina los fundamentos, la arquitectura operativa, la aplicación territorial y la evaluación proyectiva del enfoque VxC.

1.1. Planteamiento del problema

El calentamiento global, la pérdida de biodiversidad y el agotamiento de recursos naturales expresan una crisis sistémica

que no puede gestionarse adecuadamente mediante enfoques fragmentados. Según el IPCC, el incremento de la temperatura global ya ha desencadenado alteraciones significativas en los sistemas climáticos, hidrológicos y ecológicos, con efectos acumulativos sobre la estabilidad de los ecosistemas y las condiciones de vida humanas [4]. En territorios frágiles como la Amazonía peruana, esta crisis se manifiesta además en deforestación, degradación territorial y presión creciente sobre las bases biofísicas que sostienen la vida.

A ello se suma una limitación metodológica de fondo: muchos enfoques de sostenibilidad continúan privilegiando métricas monetarias, balances de compensación o reportes normativos, sin incorporar suficientemente variables físicas, energéticas y biológicas que permitan evaluar la regeneración real de los sistemas [5]. En consecuencia, numerosos procesos se valoran por su rentabilidad financiera o por su cumplimiento formal, pero no por su capacidad efectiva para transformar carbono, energía y materia en biomasa, vida útil y valor territorial regenerativo.

Se requiere, por tanto, una ingeniería regenerativa que no se limite a reducir impactos o compensar emisiones, sino que permita **cuantificar, diseñar y evaluar** procesos orientados a regenerar vida, restaurar funciones ecológicas y generar valor multicapital de manera verificable. En esa perspectiva, el presente estudio propone el enfoque **VxC** como respuesta a la necesidad de integrar fundamentos físico-químicos, arquitectura metodológica y validación territorial dentro de un mismo marco de análisis e intervención.

II. Marco conceptual: fundamentos físico-químicos y sistémicos de la ingeniería regenerativa VxC

Esta sección presenta los fundamentos conceptuales y científicos de **VxC (Vida por Carbono)** como una arquitectura regenerativa orientada al diseño de procesos capaces de generar valor físico, biológico y social de forma cuantificable y verificable. A diferencia de los enfoques centrados en compensación, mitigación o reporte ex post, VxC integra principios de termodinámica de sistemas abiertos, bioenergía fotosintética, economía ecológica y contabilidad exérgica para estructurar procesos vivos con capacidad de regeneración multicapital [3], [4], [6], [14], [28], [30].

En el marco de **IP.IDEAS.S**, VxC constituye su dimensión físico-química regenerativa. Su planteamiento no se limita a reducir impactos, sino que propone reestructurar procesos para transformar carbono atmosférico, agua y energía solar en biomasa útil y valor territorial acumulativo. Sobre esta base, el modelo incorpora una lógica de regeneración multicapital evaluable mediante indicadores como **CM**, **BM** y **ROP** [6], [13], [24].

2.1. Fundamento físico-químico regenerativo: el CRFC como base del VxC

El principio operativo de VxC se sustenta en el **Ciclo Regenerativo Físico-Químico Fotosintético del Carbono (CRFC)**, que modela la transformación del CO₂ atmosférico, el agua y la energía solar en biomasa estructurada. Se trata de un proceso biológico, endotérmico y verificable que expresa una alternativa regenerativa frente a la lógica entrópica de la economía fósil [14], [28], [30].

Su formulación general puede expresarse mediante la siguiente ecuación regenerativa:

$$V = C + 6.5 \text{ kWh/kg}$$

Donde:

- V: biomasa viva regenerada (kg)
 C: CO₂ capturado o compensado (kg)
 6.5 kWh/kg: energía solar promedio necesaria para generar 1 kg de biomasa, según estimaciones de fotosíntesis terrestre [14].

Esta relación resume una idea central del enfoque: la regeneración no debe entenderse solo como reducción de emisiones, sino como transformación estructurada de materia y energía en vida útil. En ese sentido, el CRFC constituye la base físico-química del VxC, al mostrar que el carbono puede reincorporarse a ciclos funcionales capaces de generar biomasa, oxígeno, organización biológica y valor regenerativo.

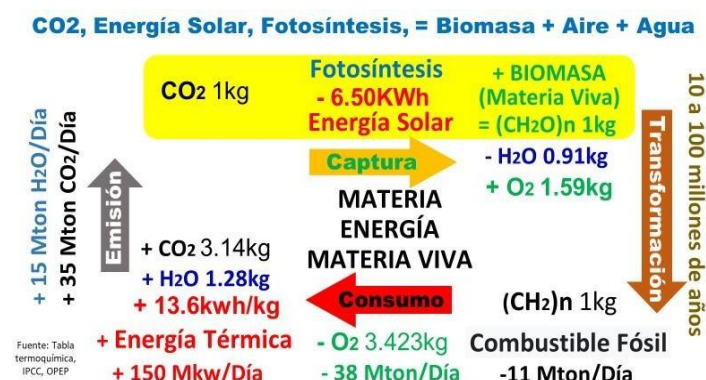


Figura 1. CRFC – Ciclo Regenerativo Fotosintético del Carbono.

Fuente: Elaboración propia con base en CRFCVxC e IP.IDEAS.S (Lu-Chang-Say, 2023)

2.2. Economía circular y regeneración multicapital: el sistema 4P

Sobre esta base físico-química, VxC se organiza como un sistema de interacciones múltiples entre **Planeta (P1)**, **Personas (P2)**, **Procesos (P3)** y **Provecho (P4)**. Este modelo, denominado 4P, articula la economía circular regenerativa multicapital con una lógica de flujo de energía, materia y valor [27], [31].



Figura 2. Economía Circular Multicapital: Termodinámica del Planeta, Personas, Procesos y Provecho.

Fuente: Elaboración propia según modelo 4P y CRFC-VxC, adaptado de Lu-Chang-Say (2023)

En esta perspectiva, **P1** aporta los insumos vitales del sistema, como energía, agua y suelo; **P2** transforma, usa y decide, generando impactos sobre el sistema; **P3** organiza y canaliza recursos mediante ciclos funcionales; y **P4** expresa los beneficios generados, ya sean materiales, ecológicos o sociales, que deben

reintegrarse para sostener la continuidad regenerativa

Desde esta perspectiva, el CRFC no solo permite comprender la captura de carbono, sino también reconocer funciones regenerativas más amplias. El proceso contribuye a depurar aire, reestructurar agua y activar dinámicas bióticas con retorno energético neto positivo. A diferencia de los enfoques normativos que reducen la sostenibilidad al CO₂, VxC propone una valorización estructural de recursos funcionales como el aire, el agua y la biomasa, entendidos como activos regenerativos del sistema [14], [29].

2.3. Indicadores del proceso regenerativo: CM, BM y ROP

La evaluación de procesos regenerativos no puede limitarse a métricas convencionales centradas exclusivamente en eficiencia o rentabilidad financiera. El enfoque VxC propone un sistema de medición basado en principios exergéticos y multicapital, orientado a cuantificar la capacidad de un proceso para generar valor regenerativo estructurado por cada unidad adicional de recurso invertido [12], [16], [13].

En este contexto, los indicadores **Consumo Marginal (CM)**, **Beneficio Marginal (BM)** y **Rendimiento Operativo del Proceso (ROP)** constituyen un sistema integrado que permite evaluar el desempeño regenerativo desde una perspectiva física, funcional y estratégica [13], [18].

CM representa la cantidad adicional de recursos —como carbono, agua, energía o trabajo— requerida para generar una unidad adicional de resultado útil. Este indicador mide el esfuerzo incremental del sistema y resulta fundamental para determinar la viabilidad de escalar o rediseñar un proceso [13], [12].

BM expresa el valor regenerativo adicional generado por cada unidad de recurso consumido. Este valor puede manifestarse en forma de biomasa producida, servicios ecosistémicos, energía contenida o mejoras en cohesión social. A mayor BM, mayor es la efectividad regenerativa del proceso [13], [16].

ROP se define como la relación entre el beneficio marginal y el consumo marginal:

$$ROP = BM / CM$$

Este indicador sintetiza el desempeño del sistema [13], [18]: Si **ROP > 1**, el proceso genera más valor del que consume, por lo que puede considerarse regenerativo; si **ROP < 1**, el proceso presenta una dinámica degradativa, al consumir más recursos de los que logra transformar en valor útil.

$$\frac{\text{Precio} \neq \text{Valor}}{\text{Consumo}} = \text{Cantidad} = \text{Beneficios?}$$

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

Figura 3. Indicadores del Proceso Regenerativo: CM, BM y ROP.

Fuente: Elaboración propia adaptada de LuChang-Say (2018)

En conjunto, estos indicadores permiten analizar la eficiencia real de los procesos, proyectar escenarios de mejora, identificar

restricciones operativas y orientar decisiones de diseño con base científica [12], [13], [16].

La figura muestra la articulación funcional entre los tres indicadores: el **CM** como insumo incremental, el **BM** como salida estructurada y el **ROP** como índice sintético de desempeño regenerativo. Esta integración permite comprender el proceso como un sistema dinámico de transformación, susceptible de optimización continua.

2.4. VxC como sistema de generación de valor vivo: 3V y 3P

El enfoque VxC no solo describe un proceso biofísico de transformación del carbono, el agua y la energía solar en biomasa, sino que organiza sus resultados como una arquitectura de **generación de valor vivo** [6], [13], [30]. En este sentido, la transformación de materia y energía se traduce en resultados ecológicos, sociales y económicos articulados dentro de una misma lógica regenerativa [12], [16].

Con este propósito, el modelo distingue tres dimensiones principales de valor (**3V**), relacionadas funcionalmente con los tres pilares de sostenibilidad (**3P**): **Planeta, Personas y Provecho** [6], [13]. Esta relación no debe interpretarse como una equivalencia rígida, sino como una correspondencia analítica que permite identificar la expresión predominante del valor generado en cada dimensión.

La **Tabla 1** resume esta relación. La primera dimensión, **V1: Vida regenerada**, se vincula principalmente con el **Planeta**, porque expresa generación de biomasa estructurada, restauración ecológica y reducción de entropía [14], [16], [30]. La segunda, **V2: Valor generado**, se relaciona con las **Personas**, en tanto comprende bienestar, inclusión productiva, fortalecimiento de capacidades y resiliencia social [6], [27], [31]. La tercera, **V3: Valor derivado**, se asocia con el **Provecho**, pues recoge beneficios como empleo verde, innovación, articulación territorial y sostenibilidad económica [6], [13].

Tabla 1. Relación funcional entre las dimensiones de valor VxC (3V) y los pilares de sostenibilidad (3P)
Fuente: Elaboración propia.

Dimensión VxC (3V)	Pilar de sostenibilidad (3P)	Descripción
V1: Vida regenerada	Planeta	Biomasa estructurada, restauración de ecosistemas, reducción de entropía.
V2: Valor generado	Personas	Bienestar, inclusión productiva, capacidades sociales y resiliencia.
V3: Valor derivado	Provecho	Impactos colaterales positivos: Empleos verdes, innovación, cohesión social

Estas tres dimensiones no operan de manera aislada. Por el contrario, forman parte de un mismo proceso regenerativo en el que la vida producida, el valor social generado y los beneficios derivados se retroalimentan entre sí [11], [31]. La regeneración ecológica fortalece la base material del sistema; esta, a su vez,

amplía oportunidades de bienestar y organización social; y ambos elementos hacen posible beneficios sostenibles que pueden reinvertirse en la continuidad del proceso [6], [13].

La **Figura 4** representa esta lógica de manera integrada. En ella, VxC aparece como una arquitectura de cocreación de vida, en la que la captura de CO₂ y la absorción de energía solar no solo permiten producir biomasa, sino también activar una cadena de generación de valor multicapital [13], [14]. La figura ayuda a visualizar que el umbral biofísico expresado por la relación **1 kg CO₂ + 6.5 kWh/kg** no constituye únicamente una equivalencia técnica, sino la base energética mínima a partir de la cual pueden desencadenarse resultados regenerativos en múltiples planos [14], [30].

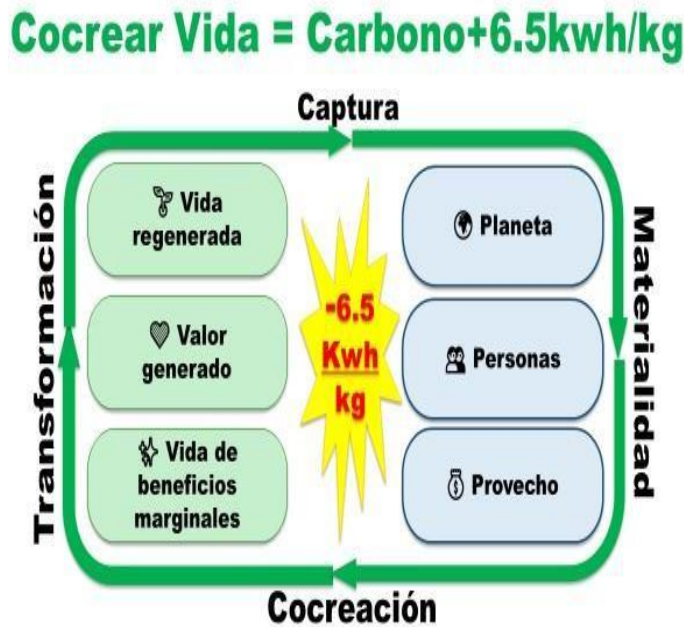


Figura 4. VxC como Arquitectura de Cocreación de Vida: Relación entre 3V, 3P y el balance energético regenerativo (6.5 kWh/kg).
Fuente: Elaboración propia, adaptado de la tesis IP.IDEAS.S (2023)

Desde esta perspectiva, la sostenibilidad deja de entenderse como un equilibrio estático entre dimensiones separadas y pasa a concebirse como un proceso activo de creación de valor. Cada unidad de materia y energía transformada puede incrementar no solo la biomasa regenerada, sino también la capacidad del sistema para producir bienestar, fortalecer capacidades y sostener beneficios acumulativos en el tiempo [12], [16], [30].

Así, VxC ofrece una lectura más amplia de la regeneración: no solo como captura de carbono o restauración biofísica, sino como una estrategia de diseño capaz de articular naturaleza, sociedad y provecho dentro de un mismo marco operativo [6], [13], [31]. Esta comprensión permite pasar, en la siguiente sección, de la identificación del valor generado a la medición de su desempeño mediante indicadores regenerativos.

III. Marco operativo: arquitectura para la implementación regenerativa

Esta sección desarrolla la arquitectura metodológica que permite traducir los fundamentos del enfoque VxC en procesos operativos aplicables en contextos territoriales complejos. Su propósito es estructurar la toma de decisiones, el diseño, la implementación y la evaluación de procesos regenerativos con coherencia estratégica, trazabilidad y orientación al valor multicapital.

Para ello, el modelo integra cuatro componentes complementarios: **CEPA**, como núcleo operativo; el **Lienzo de los 9 Pilares Estratégicos (9PE)**, como estructura de organización; el **modelo de referencia de ahorro e inversión**,

como lógica económica regenerativa; y la **Caza del Valor (CV)**, como herramienta de priorización y decisión [13], [18].

3.1. Fundamento metodológico: diseñar para regenerar

Diseñar para regenerar implica orientar los sistemas hacia la transformación estructurada de materia, energía y organización en valor regenerativo. En este enfoque, la regeneración no se concibe como resultado de acciones aisladas, sino como un proceso sistemático de diseño, ajuste y aprendizaje continuo.

Desde esta perspectiva, los sistemas deben estructurarse considerando sus restricciones, su propósito y su capacidad de generar valor multicapital. Esto implica reconocer que la sostenibilidad no depende únicamente de la eficiencia, sino de la capacidad del sistema para reorganizar sus flujos y producir resultados acumulativos en el tiempo.

3.2. Núcleo operativo: CEPA

Una vez definido el propósito regenerativo, la implementación requiere un mecanismo capaz de convertirlo en acción organizada. Ese mecanismo es **CEPA**, entendido como un ciclo operativo adaptativo que integra análisis, diseño, aprendizaje y actuación dentro de una misma lógica [13], [19], [20].

CEPA actúa como el motor operativo del enfoque VxC, permitiendo pasar del diseño conceptual a la gestión efectiva de procesos. Su fortaleza radica en integrar dimensiones técnicas, creativas y participativas dentro de una estructura única.

Se despliega en tres niveles complementarios:

- **CEPA Estratégico (Calcular – Entender – Planear – Actuar):** organiza el análisis técnico y la toma de decisiones.
- **CEPA Creativo (Concebir – Ejecutar – Perfeccionar – Adaptar):** permite la experimentación, el prototipado y la mejora continua.
- **CEPA Participativo (Comunicar – Educar – Participar – Actuar):** articula actores, capacidades y legitimidad social.

En conjunto, CEPA no constituye una secuencia lineal, sino un ciclo adaptativo que organiza la implementación regenerativa en múltiples planos simultáneos

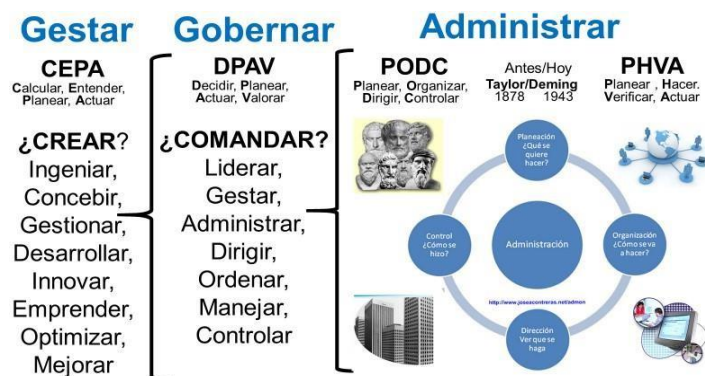


Figura 5. Arquitectura metodológica integrada (CEPA + 9PE + CV)
Fuente: Elaboración propia según Lu Chang-Say (2023)

3.3. Lógica de operación regenerativa

La operación regenerativa del enfoque VxC se sustenta en la articulación entre tres componentes: **CEPA**, **9PE** y **CV**. Cada uno cumple una función específica dentro de la arquitectura metodológica.

CEPA organiza la dinámica del proceso y permite su adaptación continua. El **9PE** estructura los elementos estratégicos de la intervención, asegurando coherencia entre propósito, actores, recursos y resultados. La **CV**, por su parte, orienta la toma de decisiones al priorizar soluciones según su capacidad de generar valor regenerativo.

La interacción de estos componentes permite que el sistema funcione como una arquitectura iterativa, capaz de aprender del contexto, reorganizar recursos y maximizar valor multicapital. En términos operativos, esta lógica orienta el sistema hacia la maximización del **BM** por unidad de **CM**, evaluando su desempeño mediante el **ROP** como criterio sintético de efectividad regenerativa [13], [18].

3.4. El Lienzo de los 9 Pilares Estratégicos (9PE)

El **9PE** constituye una herramienta de estructuración que organiza el diseño de procesos regenerativos de manera lógica y trazable. Su función es articular propósito, actores, recursos, ejecución y resultados dentro de una misma arquitectura [10], [13].

Se organiza en tres bloques:

- **3PPE (Propósito, Problemática, Potencialidades):** define el sentido estratégico.
- **3PPP (Personas, Propuesta, Procesos):** articula actores y dinámica operativa.
- **3PPO (Proyecto, Presupuesto, Provecho):** materializa la ejecución y los resultados.

Más que una lista de componentes, el 9PE funciona como una arquitectura de formulación que conecta análisis, diseño e implementación



Figura 6. Lienzo de los 9 Pilares Estratégicos (9PE). Fuente: MENS, marco conceptual de Modelos de Estratégicos de Negocios Sostenibles [10]

3.5. Modelo de referencia: ciclo del ahorro e inversión para la creación de valor y desarrollo de los capitales PPP

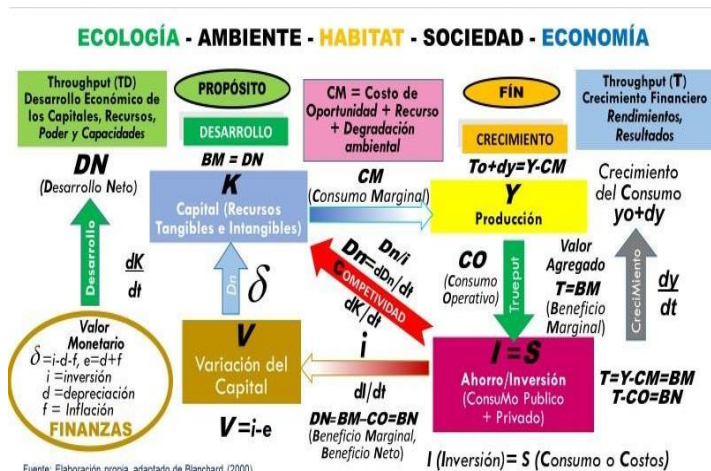


Figura 7. Ciclo del ahorro e inversión, para la creación de valor y desarrollo de los capitales PPP en la Economía.

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Blanchard (2000).

El valor del sistema se expresa en su capacidad de transformar capital, energía y organización en **throughput útil y sostenido**,

generando resultados ecológicos, sociales y económicos articulados.

El modelo de referencia integra ahorro, inversión y creación de valor desde una perspectiva multicapital. En este enfoque, el ahorro representa capacidad de acumulación de recursos, mientras que la inversión corresponde a decisiones orientadas a activar procesos regenerativos.

Los indicadores **CM**, **BM**, **CO** y **ROP** permiten interpretar este proceso, no como una simple relación costo-beneficio, sino como un flujo de valor regenerativo en el tiempo. En este sentido, invertir implica priorizar procesos capaces de sostener y expandir la regeneración, más allá de la rentabilidad financiera inmediata.

3.6. Caza del Valor: Decidir con trazabilidad

La **Caza del Valor (CV)** es una herramienta de priorización que permite vincular necesidades con soluciones mediante criterios explícitos de valor [15], [16].

Su función es seleccionar aquellas alternativas que ofrecen mayor capacidad de respuesta y mayor potencial regenerativo. A diferencia del 9PE, que estructura el sistema, la CV orienta la decisión dentro de esa estructura.

Se trata de un instrumento dinámico, cuya lectura se apoya en indicadores como **BM**, **ROP** y la **TIR regenerativa**, permitiendo evaluar la contribución real de cada alternativa al valor del sistema.

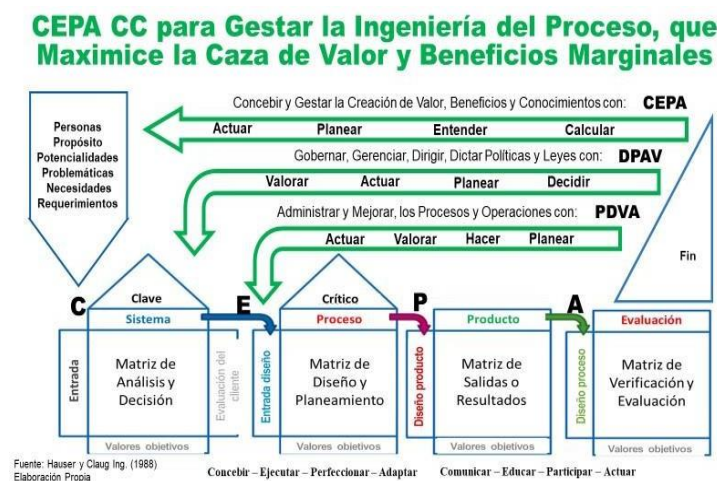


Figura 8. Caza del Valor (CV): Cruce entre necesidades y soluciones regenerativas.

Fuente: Elaboración propia basada en QFD adaptado [16]

3.7. Síntesis de articulación operativa

En conjunto, **CEPA**, el **9PE**, el modelo de referencia y la **CV** conforman una arquitectura operativa integrada. CEPA moviliza el proceso, el 9PE lo estructura, el modelo económico orienta la inversión y la CV guía la toma de decisiones.

Esta integración permite traducir el enfoque VxC en procesos diseñados con coherencia, implementados con adaptabilidad y evaluados en términos de valor multicapital.

3.8. Cierre operativo

El marco operativo del enfoque VxC permite pasar del fundamento conceptual a la implementación concreta. Su valor radica en articular diseño, decisión y acción dentro de una misma lógica metodológica.

No obstante, su consistencia debe validarse en contextos reales. Por ello, la siguiente sección presenta la aplicación territorial del enfoque mediante el sistema ATA, evidenciando su funcionamiento en un entorno amazónico.

IV. Marco aplicativo: validación territorial del diseño regenerativo con el sistema ATA

El sistema ATA (Aldea Tambo Autosustentable), desarrollado inicialmente en la tesis de maestría sobre el Modelo Estratégico de Negocios Sostenibles (MENS) y consolidado posteriormente en el marco IP.IDEAS.S, constituye un caso de validación territorial del enfoque VxC [8], [18]. Su valor como caso aplicado radica en que permite observar cómo una arquitectura metodológica orientada a la regeneración puede traducirse en decisiones, procesos y configuraciones concretas dentro de un territorio de alta biodiversidad y alta vulnerabilidad socioambiental.

Esta sección muestra cómo se operacionaliza la arquitectura metodológica de VxC —compuesta por el ciclo CEPA, el Lienzo de los 9 Pilares Estratégicos (9PE) y la Caza del Valor (CV)— en contextos amazónicos reales. Más que presentar una evaluación proyectiva del desempeño, su propósito es evidenciar cómo estas herramientas permiten estructurar la intervención, organizar la acción multiactor y transformar problemáticas territoriales en oportunidades regenerativas con trazabilidad y sentido estratégico [8], [13], [18].

4.1. Contexto territorial y desafíos del ATA

El modelo ATA surge como respuesta a desafíos estructurales de la Amazonía peruana, entre ellos la pérdida de cobertura forestal, la pobreza multidimensional y la ausencia de infraestructura regenerativa adecuada para sostener procesos de desarrollo con base ecológica [22], [23]. En este contexto, el sistema se plantea no solo como una unidad productiva o de restauración, sino como una unidad territorial regenerativa capaz de integrar conectividad, gobernanza, energía, agua y alimentos dentro de una misma lógica operativa.

El diseño territorial de ATA parte del reconocimiento de la Amazonía como una infraestructura biológica activa para la restauración de condiciones planetarias. Sobre esa base, el sistema se implementa como una unidad regenerativa de 24 hectáreas, articulando componentes de energía, agua, alimentos, conectividad y gobernanza participativa [8], [18]. Esta configuración permite que la intervención no se limite a compensar impactos, sino que busque reorganizar el territorio como sistema vivo y funcional.

4.2. Aplicación de CEPA en procesos ATA

En el sistema ATA, **CEPA** actúa como el núcleo operativo que permite conducir procesos regenerativos multicapital de manera adaptativa. Su función principal es organizar el paso desde el propósito y el diseño hacia la acción territorial, integrando análisis, aprendizaje, ajuste e implementación continua [13], [19], [20].

Sus tres niveles se despliegan de forma complementaria. El **CEPA Estratégico** orienta la planificación técnica, el análisis de información y la modelación de la regeneración territorial. El **CEPA Creativo** permite diseñar, prototipar y perfeccionar soluciones regenerativas según las condiciones locales. El **CEPA Participativo** articula inclusión de actores, educación, comunicación y corresponsabilidad social, dimensiones decisivas en entornos amazónicos donde la regeneración exige apropiación territorial y legitimidad [27], [31].

Aplicado al ATA, este enfoque permite que la implementación no siga una secuencia rígida, sino una lógica adaptativa capaz de responder a la complejidad ecológica, social y organizacional del territorio.

4.3. Aplicación del lienzo de los 9 Pilares Estratégicos (9PE)

En el caso ATA, el **Lienzo de los 9 Pilares Estratégicos (9PE)** organiza la intervención dentro de una estructura trazable y coherente. A través de sus tres bloques funcionales —**3PPE**, **3PPP** y **3PPO**— permite traducir el propósito regenerativo en una

formulación operativa que articula problema, actores, propuesta, recursos, ejecución y provecho [10], [13].

Su aplicación no consiste en reproducir una estructura conceptual abstracta, sino en orientar decisiones clave sobre el territorio: propósito, problemática, potencialidades, actores, propuesta, organización del proceso, recursos requeridos y provecho esperado. Desde esta perspectiva, el 9PE asegura coherencia sistémica entre formulación, operación y evaluación.

4.4. Implementación de la Caza del Valor (CV)

En el sistema ATA, la **Caza del Valor (CV)** funciona como una herramienta de selección y priorización que vincula necesidades territoriales con respuestas técnicas viables [15], [16]. Mientras **CEPA** organiza la dinámica operativa y el **9PE** estructura la intervención, la **CV** orienta la decisión al identificar las alternativas con mayor capacidad de respuesta y mayor potencial regenerativo [16], [18].

Su aplicación relaciona los “qué” del territorio —necesidades, restricciones y oportunidades— con los “cómo” de la intervención —soluciones, estrategias y tecnologías aplicables—, permitiendo jerarquizar opciones con base en criterios explícitos. En ATA, esta priorización se apoya en indicadores como **BM**, **ROP** y **ROI regenerativo**, reforzando la toma de decisiones con evidencia y coherencia estratégica.

4.5. Lectura estratégica de la implementación regenerativa

La aplicación del enfoque VxC en el sistema ATA permite observar cómo los principios metodológicos y las herramientas operativas desarrolladas en el capítulo anterior se traducen en una configuración territorial concreta [8], [13], [18]. Más que presentar todavía una evaluación proyectiva del desempeño, esta lectura estratégica busca mostrar que la arquitectura propuesta es efectivamente implementable en un contexto amazónico real [10], [18].

En esta etapa, el principal valor del ATA radica en demostrar que la regeneración puede organizarse como un proceso territorial, integrando infraestructura, participación, gobernanza y criterios de decisión multicapital dentro de una misma unidad operativa [8], [13]. Ello permite pasar de una lógica de intervención fragmentada a una lógica sistémica, en la que cada componente del modelo cumple una función específica dentro de un diseño orientado al propósito regenerativo [18].

Desde esta perspectiva, ATA no debe entenderse solo como una propuesta local, sino como una unidad de validación territorial capaz de evidenciar la viabilidad metodológica del enfoque VxC en contextos complejos [10], [18]. Sin embargo, describir su implementación no basta para establecer su alcance estratégico. También es necesario analizar su comportamiento esperado, su capacidad de escalamiento y su retorno multicapital. Por ello, la siguiente sección desarrolla la evaluación proyectiva del ATA, incorporando supuestos operativos, flujo de valor exergético e indicadores de rentabilidad regenerativa.

V. Evaluación proyectiva del ATA: supuestos, flujo de valor exergético y rentabilidad multicapital

La validación del sistema ATA no se limita a su coherencia conceptual ni a su aplicabilidad territorial, sino que requiere analizar su comportamiento esperado bajo condiciones operativas reales y escenarios de escalamiento. En este sentido, la evaluación proyectiva permite estimar la capacidad del modelo para generar valor exergético, retorno multicapital y sostenibilidad territorial en el tiempo, integrando dimensiones físicas, económicas, sociales y ambientales coherentes con el enfoque VxC [6], [13], [28].

A diferencia de los enfoques convencionales centrados exclusivamente en flujos financieros, esta evaluación incorpora

indicadores físicos y energéticos, permitiendo analizar el desempeño del sistema en términos de transformación efectiva de carbono, energía y biomasa en valor regenerativo estructurado.

5.1. Estrategia operativa: ciclo de regeneración de materia viva (MV)

El sistema ATA opera como una unidad modular regenerativa de 24 hectáreas, organizada bajo una lógica de intervención progresiva y rotación funcional. Cada unidad se activa mediante ciclos mensuales de intervención sobre una hectárea, completando un periodo de dos años, tras el cual las áreas intervenidas ingresan en fases de regeneración bianual sin tala, asegurando continuidad ecológica y productividad sostenida.

Este esquema parte del reconocimiento de que el carbono no se consume ni se agota, sino que debe ser capturado y transformado mediante procesos biológicos, principalmente fotosintéticos, acumulándose como materia viva funcional dentro del sistema [6], [14]. En consecuencia, el modelo no busca explotar recursos, sino activar ciclos regenerativos que incrementen la biomasa, la energía útil y la capacidad productiva del territorio.

La **Figura 9** ilustra este proceso como un ciclo continuo de producción, conversión, uso y reintegración de biomasa, en el que el carbono atmosférico y la energía solar se transforman en recursos útiles, y posteriormente retornan al sistema, asegurando su sostenibilidad operativa.

Una innovación relevante del ATA es la incorporación del concepto de **biomasa regenerada maderable**, que permite aprovechar residuos forestales sin alterar la estructura del bosque, mediante prácticas como podas dirigidas, raleos selectivos y recolección natural. Este enfoque permite generar valor económico sin comprometer la integridad ecológica del sistema [10]



Figura 9. Ciclo de vida de la bioenergía regenerativa en la Amazonía: producción, conversión, uso y reintegración de la biomasa.

Fuente: Elaboración propia, adaptado VxC basado en principios de economía circular regenerativa.

5.2. Supuestos de evaluación proyectiva

La evaluación proyectiva del ATA se construye a partir de un conjunto de supuestos operativos que permiten modelar el comportamiento del sistema en escenarios de réplica y escalamiento territorial. Estos supuestos no constituyen predicciones rígidas, sino condiciones de referencia que facilitan la simulación del desempeño del modelo en contextos realistas de implementación.

La **Tabla 2** sintetiza estos parámetros, integrando variables físicas, económicas y operativas que permiten proyectar la evolución del sistema en el tiempo. Más que presentar valores aislados, esta tabla define el marco de simulación sobre el cual se estiman indicadores de desempeño, tales como acumulación de biomasa, captura de carbono, generación de valor económico y rendimiento operativo del sistema. En ese sentido, constituye la

base analítica para la interpretación de los resultados proyectivos desarrollados en la sección siguiente.

Tabla 2. Supuestos para el programa de réplica y escalado
Elaboración Propia

TIAB Tasa de incremento Bosque	2	
TATA Tasa de Incremento ATA	2	
ACCION ATA (\$)	1,000	100
Inversión x ATA (\$)	50,000	
CO2 por hectárea ton	120	
Producción de Biomasa hectárea	10	12
Inversión Ton CO2	50	
Huella anual CO2 hectárea	1	
Consumo de biomasa hectárea	1	
Precio Ton Biomasa US\$	320	
Costo (Consumo) Operativo anual	36,000	
Otros ingresos	24,000	

5.3. Resultados proyectivos y validación del ATA

Los resultados proyectivos del sistema ATA muestran que el enfoque VxC no solo es conceptualmente consistente y territorialmente aplicable, sino también capaz de generar desempeños esperados compatibles con una lógica regenerativa. Bajo los supuestos operativos planteados, el modelo evidencia potencial para detener procesos de degradación, incrementar la productividad sin deforestación y generar ingresos sostenibles para las comunidades participantes.

Tabla 3. Flujo proyectado de valor del programa ATA escalado
Elaboración Propia

Indicadores/año	UNID.	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, qué al menos recuperan 12 hectáreas de bosque natural, anualmente	Numero de Comunidades	0	3	100	1000
Hectáreas deforestadas en la Amazonia.	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 (CO2) 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%

En términos funcionales, la proyección del ATA permite observar tres resultados centrales. En primer lugar, la **captura continua de carbono y la generación de biomasa viva**, como base biofísica del proceso regenerativo. En segundo lugar, la articulación entre **energía, materia y organización social**, que convierte la regeneración en un proceso territorial y no solo ecológico. En tercer lugar, la posibilidad de construir nuevas formas de valorización del territorio a partir de indicadores como el beneficio marginal y el rendimiento operativo del proceso.

La **Tabla 3** sintetiza el flujo proyectado de valor del programa ATA escalado. Su importancia no radica solo en mostrar cantidades acumuladas, sino en evidenciar una trayectoria de transformación en la que la captura de CO₂, la generación de biomasa y la producción de valor económico-regenerativo evolucionan de manera articulada. En ese sentido, la tabla permite leer el programa no como una suma de unidades aisladas, sino como una dinámica de crecimiento territorial con acumulación progresiva de valor multicapital.

Desde esta perspectiva, la validación del ATA no debe interpretarse únicamente como una proyección financiera o productiva. Su alcance es más amplio: muestra que el sistema puede funcionar como una unidad operativa de regeneración territorial, al integrar restauración ecológica, continuidad productiva y generación de provecho dentro de una misma lógica de diseño. Por ello, los resultados proyectivos refuerzan la idea de que VxC puede operar como base metodológica para estructurar procesos escalables, medibles y territorialmente verificables.

5.4. Evaluación multicapital del desempeño regenerativo del ATA

Sobre la base de los resultados proyectivos anteriores, la evaluación del ATA requiere una lectura que trascienda los enfoques centrados exclusivamente en rentabilidad financiera. En el marco VxC, el desempeño del sistema debe interpretarse en función de su capacidad para transformar recursos, energía y organización en valor regenerativo verificable, expresado en términos ecológicos, sociales, operativos y económicos.

En este nivel de análisis, los indicadores presentados en la Sección 2.3 cumplen una función aplicada. El **CM** permite estimar el esfuerzo incremental necesario para sostener y expandir el proceso; el **BM** expresa el valor adicional generado por esa expansión; y el **ROP** sintetiza la relación entre ambos, permitiendo apreciar si la dinámica proyectada mantiene una trayectoria efectivamente regenerativa. Aquí estos indicadores ya no se introducen como definiciones conceptuales, sino como instrumentos de lectura del desempeño esperado del ATA [12], [13], [16].

Junto con ello, la evaluación incorpora la lógica de **VxC** como criterio de compensación activa y regeneración estructurada. Bajo esta perspectiva, el valor del sistema no se limita a la biomasa producida o al ingreso económico generado, sino que incluye también la captura de carbono, la energía solar absorbida y los efectos acumulativos sobre el territorio. Esto permite interpretar el desempeño del ATA como una forma de retorno multicapital, en la que la regeneración ecológica, la cohesión social, la continuidad operativa y el provecho económico aparecen como dimensiones interdependientes del mismo proceso [13], [14].

Esta lógica se profundiza mediante la lectura de la **TIR multicapital**, expresada en cuatro dimensiones complementarias: ambiental, social, financiera y económica. Más que reemplazar la evaluación económica convencional, este enfoque la amplía, al reconocer que el valor del sistema no puede reducirse al precio de mercado de sus productos, sino que debe incluir también su capacidad para sostener funciones ecológicas, fortalecer capacidades humanas y mantener la viabilidad operativa del territorio.

Tabla 4. Dimensiones del valor VxC y tipos de retorno multicapital

VxC	Tipo de TIR	Definición
-----	-------------	------------

Planeta	TIR-P	Retorno generado por servicios ecosistémicos como captura de CO ₂ , regulación hídrica y biodiversidad [7].
Personas	TIR-S	Retorno derivado de impactos positivos en empleo, salud, educación y cohesión comunitaria.
Proceso	TIR-F	Rentabilidad operativa y financiera de la inversión en el sistema ATA desde la perspectiva del gestor [8].
Provecho	TIR-E	Retorno económico generado por ingresos de mercado asociados a biomasa, productos, bonos y/o turismo.

En ese sentido, la **Tabla 4** permite distinguir los diferentes planos desde los cuales puede interpretarse el retorno del ATA, mientras que la **Tabla 5** proyecta su rentabilidad consolidada bajo condiciones de escalamiento. La importancia de estas tablas no radica solo en los porcentajes o flujos esperados, sino en mostrar que la inversión en regeneración puede leerse como una acumulación articulada de capitales y no únicamente como recuperación monetaria.

Tabla 5. TIR consolidada del programa ATA escalado
Fuente: Elaboración propia con base en flujo de caja validado [10]

%/Mil./Año	Inv	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TIRE 424% - 50	112	337	1,011	3,033	9,098	27,294	81,881	245,644	736,932	2,210,795	
TIRF 307% - 100	112	337	1,011	3,033	9,098	27,294	81,881	245,644	736,932	2,210,795	
TIRS 307% - 100	112	337	1,011	3,033	9,099	27,297	81,890	245,670	737,010	2,211,031	
TIRA 2595% - 0.07	2	5	15	44	130	389	1,163	3,484	10,438	31,288	

Desde esta perspectiva, el **principio de valorización regenerativa** adquiere un papel decisivo. En el marco VxC, los recursos no se valoran solo por su precio de mercado, sino por su capacidad real para sostener procesos vivos, regenerar ecosistemas y producir trabajo útil dentro del sistema. Así, agua, aire, biomasa, suelo y productos derivados del bosque pueden ser evaluados como recursos funcionales cuyo valor depende de su contribución efectiva al proceso regenerativo y no únicamente de su cotización monetaria [12], [13], [16].

En conjunto, esta evaluación muestra que el ATA no solo presenta viabilidad operativa, sino también capacidad para generar retornos multicapitales consistentes con una lógica regenerativa. La integración entre indicadores físicos, lectura exergética y retorno económico ampliado permite valorar el sistema con mayor realismo y coherencia metodológica, sentando la base para la síntesis final de resultados y conclusiones del estudio.

5.5. Síntesis de resultados proyectivos del ATA

La evaluación proyectiva del ATA permite concluir que el sistema presenta condiciones favorables de viabilidad, escalabilidad y coherencia regenerativa. Bajo los supuestos operativos planteados, el modelo muestra capacidad para detener procesos de degradación, incrementar la productividad territorial

sin deforestación y generar retornos multicapitales compatibles con una lógica de regeneración estructurada.

Desde el punto de vista biofísico, los resultados proyectados indican una trayectoria positiva en la conversión de energía solar y carbono atmosférico en biomasa útil, lo que refuerza la consistencia del ATA como unidad regenerativa territorial. Desde el punto de vista económico y operativo, el sistema evidencia potencial para sostener procesos productivos viables sin comprometer la continuidad ecológica del territorio. Y desde la perspectiva social y territorial, su diseño muestra capacidad para articular participación, apropiación local y generación de provecho dentro de una misma estructura metodológica.

En conjunto, estos resultados refuerzan la consistencia del enfoque VxC no solo como marco interpretativo, sino como base para diseñar y proyectar procesos regenerativos escalables, medibles y multicapitales. El caso ATA muestra así que la regeneración puede evaluarse como una trayectoria de creación de valor territorial y no únicamente como compensación de impactos aislados. Sobre esta base, la sección siguiente presenta las conclusiones generales, las recomendaciones estratégicas y las líneas de trabajo futuro derivadas del estudio.

VI. Conclusiones y recomendaciones

A partir del análisis conceptual, metodológico y aplicado VxC, esta sección presenta una síntesis integradora de los resultados obtenidos, así como las principales recomendaciones estratégicas para su adopción, validación y escalamiento. Estas conclusiones no solo consolidan los aportes VxC a la sostenibilidad regenerativa, sino que proyectan nuevas oportunidades para su aplicación práctica, investigación futura y articulación con políticas públicas e instrumentos de desarrollo territorial.

6.1. Conclusiones generales

Los resultados del análisis conceptual, metodológico y aplicado permiten concluir que el enfoque **VxC (Vida por Carbono)** constituye una arquitectura viable para diseñar, implementar y evaluar procesos regenerativos con base científica, trazabilidad multicapital y aplicabilidad territorial.

A diferencia de los enfoques convencionales de sostenibilidad, VxC integra principios físico-químicos, metodología operativa y evaluación exergética, permitiendo traducir la regeneración en procesos medibles y verificables. Su fundamento —basado en la relación entre carbono, energía y biomasa— permite articular dimensiones ecológicas, sociales y económicas dentro de una misma lógica de creación de valor.

La aplicación del sistema ATA demuestra que esta arquitectura puede implementarse en contextos reales, evidenciando capacidad para restaurar territorios, generar biomasa, articular participación y producir retornos multicapitales sostenidos. En este sentido, el enfoque no solo amplía la comprensión de la sostenibilidad, sino que la redefine como un proceso activo de regeneración estructurada.

En conjunto, VxC se consolida como una propuesta capaz de integrar ciencia, ingeniería y acción territorial, posicionando la regeneración como un proceso diseñable, evaluable y escalable.

6.2. Recomendaciones estratégicas

1. **Aplicación territorial prioritaria en zonas bioculturales vulnerables**, como la Amazonía, mediante programas piloto replicables.
2. **Incorporar VxC en políticas públicas y marcos normativos**, integrando métricas exergéticas en la toma de decisiones sobre carbono, bioenergía y restauración ecológica.
3. **Desarrollar plataformas digitales interoperables de**

trazabilidad y verificación multicapital, que integren datos de captura de CO₂, generación de biomasa y retorno social.

4. **Formar redes de facilitadores y centros de competencia en Ingeniería Regenerativa**, promoviendo la transferencia de conocimiento y la apropiación comunitaria de procesos regenerativos.
5. **Impulsar la colaboración internacional para la cofinanciación de soluciones regenerativas**, en línea con los compromisos climáticos globales (NDC, ODS, COP).
6. **Replantar el concepto de “compensación” hacia uno de “regeneración activa”**, donde cada tonelada de carbono emitida se convierte en una oportunidad estructurada para generar vida, empleo y bienestar.

6.3. Trabajos futuros

A partir de los resultados obtenidos, se proponen las siguientes líneas de desarrollo futuro para consolidar y ampliar el impacto de VxC:

1. **Validación comparativa VxC en otros ecosistemas sensibles**, como zonas altoandinas, costeras o urbanoperiurbanas, utilizando criterios exergéticos y socioecológicos.
2. **Desarrollo de simuladores dinámicos y plataformas de inteligencia regenerativa**, que integren variables climáticas, sociales y energéticas en tiempo real.
3. **Aplicación VxC a cadenas de valor específicas**, como agroforestería, bioenergía rural, gestión de residuos orgánicos, o infraestructura verde urbana.
4. **Diseño de instrumentos financieros regenerativos basados en VxC**, como bonos de carbono vivos, créditos exergéticos, o fondos de inversión multicapital.
5. **Integración curricular de la Ingeniería Regenerativa VxC en programas universitarios de sostenibilidad, ingeniería y economía ecológica.**
6. **Desarrollo de marcos legales que reconozcan el valor físico-energético de la regeneración**, incluyendo métricas como BM, ROP y VxC en la evaluación de proyectos y políticas públicas.

Referencias

- [1] J. Elkington, “25 Years Ago I Coined the Phrase ‘Triple Bottom Line.’ Here’s Why It’s Time to Rethink It,” *Harvard Business Review*, Jun. 25, 2018.
- [2] J. W. Forrester, “Counterintuitive Behavior of Social Systems,” *Technology Review*, vol. 73, no. 3, pp. 52–68, 1971.
- [3] V. Smil, *Energy at the Crossroads: Global Perspectives and Uncertainties*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2006.
- [4] IPCC, *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland: IPCC, 2023.
- [5] R. Lazarus, “Emissions and evaluation: Measuring the immeasurable in sustainability,” *Environmental Systems Journal*, vol. 45, no. 3, pp. 331–349, 2018.
- [6] UNDP, *Human Development Report 2023: Breaking the Cycle of Unsustainable Growth*. New York, NY, USA: United Nations Development Programme, 2023.
- [7] J. Rifkin, *The Green New Deal*. St. Martin’s Press, 2019.
- [8] CEPAL, *La emergencia climática en América Latina y el Caribe: ¿seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción?* Santiago, Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2020.
- [9] Ellen MacArthur Foundation, *Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition*. Cowes, U.K.: Ellen MacArthur Foundation, 2013.
- [10] M. Saidani, B. Yannou, Y. Leroy, F. Cluzel, and A. Kendall, “A taxonomy of circular economy indicators,” *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 145, pp. 518–529, 2019.
- [11] F. Capra and P. L. Luisi, *The Systems View of Life: A Unifying Vision*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2014.
- [12] C. A. S. Hall and K. A. Klitgaard, *Energy and the Wealth of Nations: Understanding the Biophysical Economy*. Springer, 2012.
- [13] J. Lu-Chang-Say, “Process engineering for sustainably IDEAS (Innovation, Development and Entrepreneurship to Act Social),” in *Proceedings of the LACCEI International Multiconference for Engineering, Education and Technology*, 2023.
- [14] FAO, *Photosynthesis and biomass productivity: A global perspective*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2017.
- [15] Y. Akao, *Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design*. Cambridge, MA, USA: Productivity Press, 1990.
- [16] N. Georgescu-Roegen, *The Entropy Law and the Economic Process*. Cambridge, MA, USA: Harvard University Press, 1971.
- [17] E. M. Goldratt and J. Cox, *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*. Great Barrington, MA, USA: North River Press, 2004.
- [18] J. Lu-Chang-Say, “*Modelo Estratégico de Negocio Socioeconómico de Referencia para Incrementar la Competitividad Desarrollando Sosteniblemente la Amazonía*” [Tesis de Maestría], Universidad Nacional de Ingeniería, 2022.
- [19] P. Checkland and J. Poulter, *Soft Systems Methodology in Action*. Wiley, 2010.
- [20] W. E. Deming, *Out of the Crisis*. MIT Press, 1986.
- [21] I. Nonaka and H. Takeuchi, *The Knowledge-Creating Company*. Oxford University Press, 1995.
- [22] Ministerio del Ambiente del Perú, *Cobertura y pérdida de bosque húmedo amazónico 2021*. Lima: MINAM, 2022.
- [23] W. Sombroek, Spatial and temporal patterns of Amazon rainfall: Consequences for the planning of agricultural occupation and the design of agricultural systems. *Ambio*, 30(6), 388–396, 2001.
- [24] LACCEI, *Agenda estratégica para la ingeniería en América Latina y el Caribe*, 2023.
- [25] D. H. Meadows, D. L. Meadows, J. Randers, and W. W. Behrens III, *The Limits to Growth*. Universe Books, 1972.
- [26] Global Reporting Initiative, *GRI 1: Foundation 2021*. Amsterdam, The Netherlands: Global Amsterdam: GRI, 2021.
- [27] P. Freire, *Pedagogía del oprimido*. México Siglo XXI Editores, 1970.
- [28] UNFCCC, *Glasgow Climate Pact: COP26 Outcomes*. United Nations Framework Convention on Climate Change, 2022.
- [29] E. Schrödinger, *What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell*. Cambridge University Press, 1944.
- [30] United Nations Environment Programme, *Digital Transformation*. Nairobi, Kenya: UNEP, *Digital Transformation for Sustainable Development*. United Nations Environment Programme, 2022.
- [31] H. R. Maturana and F. J. Varela, *Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living*. Springer, 1980.
- [32] Naciones Unidas, *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Resolución A/RES/70/1, 2015.
- [33] B. Walker and D. Salt, *Resilience Thinking: Sustaining Ecosystems and People in a Changing World*. Island Press, 2006.

