

PAF+ Model: Extending the Cost of Quality Framework in Contexts of Programmed Obsolescence

Glen Freddy Robayo Cabrera¹, Amalia Mariuxi Aguay Tomalá², Reynier Reyes Hernández³, Jazmín Andrea Banda Loo⁴; grobayoc@ube.edu.ec¹, amaguayt@ube.edu.ec², reyreyes@ucf.edu.cu³, jbanda@ube.edu.ec⁴, <https://orcid.org/0009-0006-9195-7423>¹, <https://orcid.org/0009-0006-4101-2317>², <https://orcid.org/0000-0001-7032-0892>³, <https://orcid.org/0009-0009-2416-6631>⁴;
Universidad Bolivariana del Ecuador(UBE) Duran, Ecuador¹²⁴, Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez³

Abstract

Traditional cost of quality models, particularly the Prevention-Appraisal-Failure (PAF) framework, focus primarily on internal and externally observable failure costs within organizational boundaries. However, in contexts characterized by programmed obsolescence and accelerated product replacement cycles, a significant portion of quality-related costs may be displaced beyond the firm and not captured in conventional accounting structures. This paper proposes an extended analytical model (PAF+) that incorporates a fifth component, termed Displaced Non-Quality Cost (CND), conceptualized as the aggregation of environmental, social, and regulatory externalized costs. The model is formalized through a dynamic cost function and extended using integral and marginal analysis to evaluate intertemporal cost accumulation and strategic trade-offs. A numerical illustration demonstrates how reductions in durability may generate systemic cost increases not reflected in traditional quality metrics. The proposed framework contributes to quality management theory by integrating sustainability, regulatory evolution, and intertemporal analysis into cost modeling, offering a generalized structure applicable across sectors. Future research should focus on empirical operationalization and sector-specific estimation of displaced costs.

Keywords: Cost of Quality; Programmed Obsolescence; Sustainability; Externalities; Quality Management.

Modelo PAF+: Extensión del Modelo de Costos de la Calidad en Contextos de Obsolescencia Programada

Glen Freddy Robayo Cabrera¹, Amalia Mariuxi Aguay Tomalá², Reynier Reyes Hernández³, Jazmín Andrea Banda Loo⁴; grobayoc@ube.edu.ec¹, amaguayt@ube.edu.ec², reyreyes@ucf.edu.cu³, jabandal@ube.edu.ec⁴, <https://orcid.org/0009-0006-9195-7423>¹, <https://orcid.org/0009-0006-4101-2317>², <https://orcid.org/0000-0001-7032-0892>³, <https://orcid.org/0009-0009-2416-6631>⁴;
Universidad Bolivariana del Ecuador(UBE) Duran, Ecuador^{1,2,4}, Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez³

Resumen - Los modelos tradicionales de costos de la calidad, particularmente el marco Prevención-Evaluación-Fallas (PAF), se concentran principalmente en los costos internos y en las fallas observables dentro de los límites organizacionales. Sin embargo, en contextos caracterizados por la obsolescencia programada y la aceleración de los ciclos de reemplazo de productos, una parte significativa de los costos relacionados con la calidad puede desplazarse fuera de la empresa y no ser capturada por las estructuras contables convencionales. Este artículo propone un modelo analítico ampliado (PAF+) que incorpora un quinto componente denominado Costo de No Calidad Desplazado (CND), conceptualizado como la agregación de costos externalizados de naturaleza ambiental, social y regulatoria. El modelo se formaliza mediante una función dinámica de costos y se extiende a través de análisis integral y marginal para evaluar la acumulación intertemporal de

costos y las compensaciones estratégicas. Una ilustración numérica demuestra cómo la reducción de la durabilidad puede generar incrementos sistémicos en el costo total que no son evidentes bajo las métricas tradicionales de calidad. El marco propuesto contribuye a la teoría de la gestión de la calidad al integrar sostenibilidad, evolución regulatoria y análisis intertemporal en la modelación de costos, ofreciendo una estructura general aplicable a distintos sectores. Futuras investigaciones deberán enfocarse en la operacionalización empírica y en la estimación sectorial de los costos desplazados.

Palabras claves: Costos de la Calidad; Obsolescencia Programada; Sostenibilidad; Externalidades; Gestión de la Calidad.

I. INTRODUCCIÓN

La obsolescencia programada se ha consolidado como un mecanismo estructural que acelera la rotación del capital mediante la reducción deliberada de la vida útil de los productos [1, 2]. Desde sus antecedentes históricos vinculados al Cártel Phoebus y las propuestas de Bernard London en el contexto de las crisis industriales del siglo XX [2, 3], hasta su manifestación contemporánea a través de actualizaciones tecnológicas, bloqueo de reparaciones y estrategias simbólicas de consumo, este fenómeno ha evolucionado como componente críticas sostienen que la versión dominante de la economía circular mantiene una lógica reformista que no cuestiona de manera estructural la aceleración del ciclo producción-consumo que sustenta la obsolescencia programada [6]. En consecuencia, persiste una brecha analítica relevante en el ámbito de la gestión empresarial: la ausencia de un marco metodológico que permita integrar los efectos sistémicos de la obsolescencia deliberada dentro de los modelos tradicionales de costos de calidad.

El modelo clásico de costos de calidad, estructurado en costos de prevención (CP), evaluación (CE), fallas internas (CFI) y fallas externas (CFE), constituye una herramienta

funcional del modelo productivo lineal. Diversos estudios han evidenciado que dicha dinámica contribuye al incremento sostenido de residuos electrónicos y a la intensificación del impacto ambiental asociado a la extracción y descarte prematuro de materiales estratégicos [1, 4].

En respuesta a esta problemática, la economía circular ha sido promovida como alternativa orientada a la reutilización, reparación y valorización de recursos, con el objetivo de desacoplar crecimiento económico y presión ambiental [5]. No obstante, aproximaciones

ampliamente aceptada para la gestión y mejora organizacional [7, 8]. Sin embargo, este enfoque parte del supuesto de que las fallas son eventos no deseados que deben minimizarse. Cuando la reducción de la durabilidad es intencional y forma parte del diseño estratégico del producto, el modelo PAF no contempla los costos derivados de la externalización ambiental, social y económica que exceden el ámbito contable de la empresa.

La literatura en contabilidad ambiental y responsabilidad corporativa ha señalado que la no internalización de estos costos genera una discrepancia entre el desempeño financiero reportado y el impacto sistémico real producido por la

organización [9, 10]. Esta distorsión puede interpretarse como un desplazamiento del costo de la no calidad hacia el consumidor, el Estado y el sistema ecológico, sin que exista una formalización dentro del modelo tradicional de gestión de calidad.

Ante este vacío metodológico, el presente artículo propone una ampliación conceptual del modelo clásico PAF mediante la incorporación del Costo de No Calidad Desplazado (CND), definido como el conjunto de costos sistémicos asociados a la reducción deliberada de la vida útil del producto que no son reconocidos contablemente por la empresa. La contribución principal consiste en formular un modelo ampliado (PAF+) que permita expresar el costo total de la calidad como:

$$CTC = CP + CE + CFI + CFE + CND \quad (1)$$

donde el término CND integra la dimensión ambiental, social y regulatoria vinculada a la obsolescencia programada.

El artículo se organiza de la siguiente manera: la Sección II desarrolla el marco teórico sobre obsolescencia programada, costos de calidad y economía circular; la Sección III describe la metodología empleada; la Sección IV analiza las limitaciones del modelo PAF frente a la obsolescencia deliberada; la Sección V presenta la propuesta del modelo PAF+; la Sección VI discute sus implicaciones contables y regulatorias; finalmente, la Sección VII expone las conclusiones.

II. MARCO TEÓRICO

a) Obsolescencia programada como fenómeno económico y estratégico

La obsolescencia programada puede definirse como la incorporación deliberada de mecanismos que reducen la vida útil funcional o percibida de un producto o servicio, con el objetivo de estimular su reemplazo anticipado [1, 2]. Este fenómeno no se limita a fallas técnicas inducidas, sino que incluye dimensiones funcionales, simbólicas y estratégicas que influyen en la decisión de sustitución por parte del usuario.

Desde una perspectiva histórica, la reducción planificada de durabilidad emergió como respuesta a crisis de sobreproducción industrial, consolidándose posteriormente como herramienta estructural de dinamización de la demanda [2, 3]. En contextos contemporáneos, la aceleración de la innovación tecnológica y la integración de componentes digitales han ampliado las formas de obsolescencia, incluyendo actualizaciones incompatibles, limitaciones de reparabilidad y cambios de estándares técnicos [11, 12].

Diversos estudios han señalado que la obsolescencia programada puede generar impactos sistémicos asociados al incremento en la frecuencia de reemplazo y al acortamiento del ciclo de vida [1, 4]. Aunque estos efectos suelen analizarse

desde la sostenibilidad ambiental, también poseen implicaciones económicas y distributivas, ya que pueden transferir costos hacia usuarios y otros actores del sistema.

Asimismo, la percepción del consumidor juega un papel relevante. Investigaciones recientes muestran que la conciencia sobre prácticas de obsolescencia y la sensibilidad ambiental influyen en la intención de recompra y en la evaluación ética de la empresa [13, 14]. Esto sugiere que las decisiones estratégicas de diseño pueden generar no solo efectos productivos, sino también consecuencias reputacionales y de mercado.

b) Modelo tradicional de costos de calidad (PAF)

El modelo clásico de costos de calidad, estructurado en costos de prevención (CP), evaluación (CE), fallas internas (CFI) y fallas externas (CFE), constituye una de las herramientas más difundidas para la gestión y mejora organizacional [7, 8]. Este enfoque, conocido como modelo PAF (Prevention–Appraisal–Failure), parte del supuesto de que las fallas son eventos no deseados y que la inversión en prevención y control reduce el costo total asociado a defectos.

Los costos de prevención incluyen actividades orientadas a evitar errores en el diseño o producción; los costos de evaluación corresponden a inspecciones y verificaciones de cumplimiento; los costos de fallas internas se relacionan con defectos detectados antes de la entrega; y los costos de fallas externas abarcan reclamaciones, garantías y pérdida de imagen [7].

La lógica central del modelo PAF establece que existe un punto óptimo donde el incremento en CP y CE minimiza la suma de fallas internas y externas [8]. No obstante, esta estructura asume que la organización busca maximizar la durabilidad y el desempeño dentro de parámetros eficientes. Cuando la reducción de vida útil forma parte del diseño estratégico, la estructura tradicional puede resultar insuficiente para capturar impactos que exceden el ámbito contable interno.

c) Economía circular, sostenibilidad y externalidades

La economía circular propone transformar el modelo lineal de producción y consumo mediante estrategias de reutilización, reparación, remanufactura y reciclaje [5, 15]. Su objetivo central es prolongar el valor de los recursos y reducir la generación de impactos sistémicos asociados al ciclo de vida de bienes y servicios. Sin embargo, enfoques críticos advierten que la economía circular puede limitarse a optimizar la fase post-consumo si no interviene en el diseño inicial del producto [6]. En este sentido, la durabilidad y la reparabilidad constituyen variables estratégicas que determinan la eficacia real de los modelos circulares.

Desde la contabilidad ambiental y la responsabilidad corporativa, se ha señalado la importancia de internalizar externalidades que tradicionalmente han sido transferidas fuera del perímetro organizacional [9, 10]. La no internalización de dichos impactos genera divergencias entre desempeño financiero y costo sistémico real. En los últimos años, marcos regulatorios emergentes han incorporado mecanismos orientados a reducir prácticas de obsolescencia y mejorar la transparencia en comunicación ambiental [16, 17]. Estas iniciativas evidencian una tendencia hacia la incorporación progresiva de costos previamente desplazados dentro de la estructura económica de las organizaciones.

d) Brecha conceptual identificada

La revisión de la literatura permite identificar una brecha relevante: mientras la obsolescencia programada ha sido analizada desde perspectivas económicas, ambientales y regulatorias [1, 6], y el modelo PAF ha sido ampliamente desarrollado como herramienta de gestión interna [7, 8], no existe una integración formal que permita capturar los costos sistémicos derivados de decisiones estratégicas de diseño dentro del marco de costos de calidad.

Esta brecha conceptual fundamenta la necesidad de ampliar el modelo tradicional mediante la incorporación de una categoría adicional que capture los costos no internalizados asociados a la reducción deliberada de durabilidad, lo cual se desarrolla en la Sección V.

III. METODOLOGÍA

El presente estudio adopta un enfoque teórico-analítico, orientado a la integración conceptual y formalización de un modelo ampliado de costos de calidad aplicable al análisis de la obsolescencia programada. Se desarrolla mediante una revisión teórica estructurada de literatura académica especializada, complementada con análisis comparativo y formulación conceptual. No se trata de un estudio empírico basado en datos primarios, sino de un trabajo de síntesis crítica y desarrollo metodológico sustentado en fuentes secundarias relevantes.

El procedimiento metodológico se estructuró en tres etapas principales. En la primera etapa se realizó una revisión teórica estructurada de literatura académica indexada relacionada con: (i) obsolescencia programada y su evolución histórica [1, 4]; (ii) economía circular y sostenibilidad productiva [5, 6]; y (iii) modelos tradicionales de costos de calidad y su formalización contable [7, 8]. Asimismo, se incorporaron aportes de la contabilidad ambiental y responsabilidad corporativa vinculados a la internalización de externalidades [9, 10]. La selección de fuentes consideró criterios de actualidad, pertinencia temática y reconocimiento académico.

En la segunda etapa se desarrolló un análisis comparativo entre los supuestos del modelo clásico PAF y las características estructurales de la obsolescencia programada. Este contraste permitió identificar una brecha conceptual: el modelo PAF asume que las fallas son no intencionales y que el objetivo organizacional consiste en su minimización progresiva, mientras que la obsolescencia deliberada implica una reducción estratégica de la durabilidad que no es capturada por las categorías tradicionales de costos.

En la tercera etapa se procedió a la formulación conceptual del Costo de No Calidad Desplazado (CND) como categoría adicional al modelo PAF. Esta formalización se construyó integrando elementos de gestión de calidad, economía circular y contabilidad ambiental, con el propósito de expresar el costo total de la calidad en términos ampliados mediante la ecuación presentada en (1). El desarrollo del modelo PAF+ se fundamenta en un enfoque deductivo, partiendo de los supuestos teóricos existentes para proponer una extensión analítica coherente y aplicable en contextos organizacionales. El resultado metodológico de este proceso es un marco conceptual formal que permite analizar la obsolescencia programada no solo como fenómeno económico o ambiental, sino como variable relevante dentro de la estructura del costo total de la calidad.

Para la revisión teórica estructurada se consideraron publicaciones académicas y documentos especializados relacionados con obsolescencia programada, economía circular, sostenibilidad, costos de calidad y contabilidad ambiental. La selección priorizó pertinencia temática, actualidad, consistencia conceptual y utilidad para la construcción del modelo analítico propuesto. El propósito de esta revisión no fue estimar efectos estadísticos ni realizar metaanálisis, sino identificar categorías conceptuales, relaciones teóricas y vacíos metodológicos que justificaran la ampliación del modelo PAF.

IV. LIMITACIONES DEL MODELO PAF FRENTE A LA OBSOLESCENCIA PROGRAMADA

El modelo tradicional de costos de calidad (PAF) se fundamenta en el principio de que la inversión en prevención y evaluación reduce progresivamente los costos asociados a fallas internas y externas, permitiendo optimizar el costo total de la calidad [7, 8]. Este enfoque ha demostrado utilidad en contextos donde los defectos constituyen eventos no deseados derivados de ineficiencias técnicas o fallas de control. Sin embargo, cuando la reducción de la vida útil del producto es deliberada y forma parte del diseño estratégico, emergen limitaciones estructurales en el modelo.

Una primera limitación radica en el supuesto de intencionalidad. El modelo PAF parte de la premisa de que las fallas deben minimizarse. En contraste, la obsolescencia programada implica que la disminución de durabilidad puede ser una

decisión planificada para estimular la rotación de ventas [1, 2]. En estos casos, el costo asociado al reemplazo prematuro no es interpretado como falla organizacional, sino como parte del modelo de negocio, lo que impide su clasificación dentro de las categorías tradicionales de fallas externas.

Una segunda limitación se relaciona con el alcance contable del modelo. Las categorías CP, CE, CFI y CFE se circunscriben al ámbito interno de la organización y a su relación directa con el cliente. No obstante, la obsolescencia programada genera impactos sistémicos que exceden dicho perímetro, incluyendo la acumulación de residuos electrónicos, la extracción intensiva de recursos naturales y la transferencia de costos ambientales al sector público [9]. Estos efectos no son registrados como costos de calidad en los estados financieros, lo que produce una divergencia entre desempeño económico reportado e impacto real generado.

En tercer lugar, el modelo PAF no contempla explícitamente la dimensión temporal extendida del producto. Las fallas externas suelen medirse dentro del periodo de garantía o en horizontes relativamente cortos. Sin embargo, la obsolescencia deliberada puede manifestarse inmediatamente después de dicho periodo, trasladando el costo de reposición al consumidor sin que la empresa registre un costo directo adicional. Esta práctica modifica la distribución temporal del riesgo y dificulta su captura dentro de la estructura tradicional del modelo [2, 3].

Asimismo, la economía circular ha sido presentada como alternativa para mitigar los efectos del modelo lineal mediante estrategias de reciclaje y remanufactura [5, 15]. Sin embargo, enfoques críticos advierten que la circularidad post-consumo no necesariamente corrige la reducción intencional de la durabilidad en la fase de diseño [6]. En consecuencia, incluso bajo esquemas circulares, el modelo PAF continúa sin integrar formalmente los costos sistémicos derivados de la aceleración del ciclo de reemplazo.

Estas limitaciones evidencian una brecha metodológica: el modelo tradicional de costos de calidad no incorpora los costos desplazados hacia el entorno ambiental, social y regulatorio cuando la obsolescencia forma parte del diseño estratégico del producto. En ausencia de una categoría adicional que capture dichos efectos, el costo total de la calidad resulta subestimado desde una perspectiva sistémica. En este contexto, se justifica la necesidad de ampliar el marco analítico mediante la incorporación de una categoría que permita integrar los costos no internalizados asociados a la reducción deliberada de la vida útil, lo cual se desarrolla en la siguiente sección.

V. PROPUESTA DEL MODELO PAF+

La identificación de las limitaciones estructurales del modelo PAF frente a la obsolescencia programada justifica la

ampliación de su marco analítico mediante la incorporación de una quinta categoría que permita capturar los costos sistémicos no internalizados por la organización. En este sentido, se propone el modelo PAF+, cuya formulación amplía la expresión tradicional del costo total de la calidad. El modelo ampliado se expresa formalmente como:

$$CTC = CP + CE + CFI + CFE + CND \quad (1)$$

donde:

CTC: Costo Total de la Calidad

CP: Costos de Prevención

CE: Costos de Evaluación

CFI: Costos de Fallas Internas

CFE: Costos de Fallas Externas

CND: Costos de No Calidad Desplazados

Mientras que las cuatro primeras categorías corresponden al modelo tradicional [7, 8], el término CND representa la contribución conceptual propuesta en este estudio.

a) Definición conceptual del Costo de No Calidad Desplazado (CND)

Se define el Costo de No Calidad Desplazado (CND) como el conjunto de costos sistémicos derivados de la reducción deliberada de la vida útil del producto que no son reconocidos contablemente por la empresa, pero que generan impactos económicos, ambientales y sociales medibles.

El CND emerge cuando la obsolescencia programada forma parte del diseño estratégico del producto [1, 2], trasladando costos hacia:

- El consumidor (reemplazo prematuro).
- El Estado (gestión de residuos, infraestructura ambiental).
- El sistema ecológico (emisiones, extracción intensiva de recursos).

Diversos estudios han documentado el incremento sostenido de residuos electrónicos y la pérdida de materiales estratégicos como consecuencia del reemplazo acelerado [1, 4]. Desde la perspectiva de contabilidad ambiental, la no internalización de estos efectos genera una divergencia entre desempeño financiero y costo real sistémico [9, 10].

b) Estructura analítica del CND

Para efectos analíticos, el Costo de No Calidad Desplazado (CND) puede desagregarse en tres dimensiones estructurales:

$$CND = CA + CS + CR \quad (2)$$

donde:

CA: Costos Ambientales Desplazados
 CS: Costos Sociales Desplazados
 CR: Costos Regulatorios o Institucionales

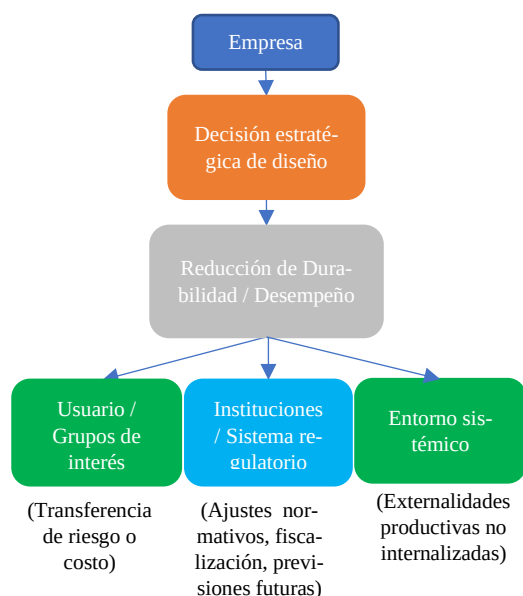
Costos Ambientales (CA) corresponden a impactos derivados del uso intensivo de recursos, generación de externalidades productivas o alteraciones en el entorno natural asociadas al ciclo de vida del producto o servicio, independientemente del sector económico.

Costos Sociales (CS) incluyen efectos indirectos sobre usuarios, comunidades o grupos de interés, tales como pérdida de valor económico, reducción de bienestar, transferencia de riesgo o asimetrías de información derivadas de decisiones estratégicas de diseño.

Costos Regulatorios (CR) se refieren a obligaciones actuales o potenciales derivadas de marcos normativos, estándares sectoriales, provisiones futuras, sanciones, exigencias de cumplimiento o ajustes institucionales vinculados a impactos previamente no internalizados.

Esta desagregación permite conceptualizar el CND como una variable transversal aplicable a cualquier organización, independientemente de su sector (Figura 1), tamaño o naturaleza productiva, al capturar costos sistémicos no reconocidos dentro de la estructura tradicional del modelo PAF.

Figura 1
 Esquema conceptual del Costo de No Calidad Desplazado (CND)



Nota: Elaboración propia

c) Operacionalización analítica del CND

24th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Engineering without Borders: Artificial Intelligence, Knowledge, Innovation, and Alliances for a Future from the Americas". Hybrid Event, Santiago-Chile, July 15 - 17, 2026

Con el fin de facilitar la aplicabilidad del modelo, el Costo de No Calidad Desplazado (CND) puede aproximarse mediante indicadores de estimación asociados a cada una de sus dimensiones. De forma general, el CND puede expresarse como una función de impactos unitarios multiplicados por el volumen adicional de reemplazo inducido por la reducción de durabilidad. Esta lógica permite adaptar el modelo a distintos sectores productivos sin perder generalidad analítica, siempre que se definan criterios razonables de medición para cada dimensión.

d) Comparación entre Modelo PAF y Modelo PAF+

En el modelo tradicional, el costo total de la calidad se optimiza mediante el equilibrio entre inversión preventiva y reducción de fallas [7]. Sin embargo, bajo obsolescencia deliberada, la reducción estratégica del CP puede aumentar la frecuencia de reemplazo sin incrementar proporcionalmente los costos internos registrados.

- El modelo PAF+ introduce una perspectiva sistémica:
- Si CP disminuye deliberadamente para reducir durabilidad,
- CFE puede mantenerse controlado dentro del periodo de garantía,
- Pero CND aumenta como consecuencia del desplazamiento del costo hacia el entorno.

En términos analíticos, el modelo PAF tradicional puede subestimar el CTC cuando:

$$CND > 0$$

y no es incorporado en la evaluación organizacional.

e) Implicaciones del Modelo PAF+

La incorporación del CND modifica la interpretación del desempeño organizacional. Un producto con baja incidencia de fallas registradas puede presentar un CND elevado si su vida útil es deliberadamente reducida. En consecuencia, el modelo PAF+ permite:

- Evaluar la sostenibilidad real del diseño del producto.
- Integrar contabilidad ambiental y gestión de calidad.
- Anticipar riesgos regulatorios asociados a la obsolescencia.
- Vincular decisiones de diseño con impacto sistémico.

Este enfoque no reemplaza el modelo tradicional (Tabla 1), sino que lo amplía incorporando una dimensión que hasta ahora ha permanecido fuera del análisis formal de costos de calidad.

TABLA I
COMPARACIÓN ENTRE EL MODELO PAF Y EL MODELO PAF+

Componente	Modelo PAF Tradicional	Modelo PAF+ Propuesto
Alcance	Costos internos organizacionales	Perspectiva sistémica
Categorías	CP + CE + CFI + CFE	CP + CE + CFI + CFE + CND
Externalidades ambientales	No explícitas	Integradas (CA)
Impacto social	No considerado	Incluido (CS)
Riesgo regulatorio	Implícito	Explícito (CR)
Horizonte temporal	Corto-medio plazo	Largo plazo sistémico

Comparación sintética entre el modelo tradicional de costos de la calidad PAF y el modelo ampliado PAF+, destacando su alcance y componentes analíticos. Permite identificar las diferencias en cobertura de costos y su utilidad para la gestión integral de la calidad.

Con fines analíticos y sin pretender una medición empírica directa, se propone una estructura de aproximación para la estimación del Costo de No Calidad Desplazado (CND), basada en indicadores representativos de cada una de sus dimensiones. Esta aproximación permite adaptar el modelo a distintos contextos organizacionales, manteniendo su carácter conceptual y su aplicabilidad general.

Tabla II
APROXIMACIÓN ANALÍTICA PARA LA ESTIMACIÓN DEL COSTO DE NO CALIDAD DESPLAZADO (CND)

Dimensión	Variable	Indicador propuesto	Unidad	Referencias posibles de estimación	Expresión
CA	Impacto ambiental	Impacto unitario asociado al incremento de producción	USD/unidad	LCA, indicadores energéticos, análisis sectorial	$CA = q \times c_a$
CS	Impacto social	Pérdida de valor por reemplazo anticipado	USD/unidad	Estudios de consumo, precios de mercado, percepción del usuario	$CS = q \times c_s$
CR	Impacto regulatorio	Costos potenciales de cumplimiento o regulación	USD/unidad	Normativa sectorial, provisiones, marcos institucionales	$CR = q \times c_r$

Donde q representa el volumen adicional de reemplazo inducido por la reducción de la durabilidad.

La estructura presentada en la Tabla II se aplica posteriormente en el ejemplo ilustrativo, permitiendo evidenciar la forma en que los costos desplazados pueden estimarse en escenarios analíticos.

f) Ejemplo ilustrativo y justificación del CND

Con el propósito de evidenciar la diferencia entre el modelo tradicional PAF y el modelo ampliado PAF+, se presenta un caso hipotético aplicable a cualquier organización que comercialice bienes o servicios con ciclo de reemplazo recurrente.

Escenario base – Modelo PAF tradicional

Supóngase que una empresa presenta los siguientes costos anuales de calidad:

CP = 120,000

CE = 90,000

CFI = 70,000

CFE = 50,000

Por lo tanto, bajo el modelo tradicional:

CTC (PAF) = CP + CE + CFI + CFE

CTC (PAF) = 120,000 + 90,000 + 70,000 + 50,000

CTC (PAF) = 330,000

Desde la perspectiva convencional, este sería el costo total de la calidad reportado por la organización.

Supuesto estratégico: reducción de vida útil:

Ahora supóngase que, mediante decisiones estratégicas de diseño, la vida útil efectiva del producto se reduce de 5 años a 3 años. Esta reducción genera un aumento en la frecuencia de reemplazo, produciendo 10,000 unidades adicionales anuales respecto al escenario de mayor durabilidad.

Los valores unitarios utilizados para la estimación de los costos desplazados (c_a , c_s y c_r) representan aproximaciones monetarias de los impactos asociados a cada dimensión del CND. En particular, estos valores sintetizan en términos económicos los efectos ambientales, sociales y regulatorios derivados del incremento en la frecuencia de reemplazo. En un contexto aplicado, dichos valores podrían estimarse mediante metodologías específicas, tales como el análisis de ciclo de vida para la dimensión ambiental, estudios de mercado o pérdida de valor para la dimensión social, y estimaciones de cumplimiento normativo o provisiones regulatorias para la dimensión institucional. En el presente ejemplo, se emplean valores analíticos representativos con el fin de ilustrar la lógica del modelo y garantizar su coherencia interna.

Bajo este supuesto, se estiman los costos desplazados utilizando un enfoque unitario promedio.

- Estimación de los Costos Ambientales Desplazados (CA):

Se asume que cada unidad adicional producida implica un impacto ambiental de 8.5 promedio expresado en términos monetarios, asociado a:

- uso adicional de recursos productivos,
- intensificación de procesos logísticos,
- mayor presión sobre infraestructura ambiental y energética,
- externalidades derivadas del ciclo productivo.

Entonces:

$$CA = 10,000 \times 8.5$$

$$CA = 85,000$$

- Estimación de los Costos Sociales Desplazados (CS):

Se considera que cada reemplazo anticipado genera para los usuarios un impacto promedio de 6 unidades monetarias, asociado a:

- pérdida de valor económico del bien,
- costos de transacción y tiempo,
- transferencia de riesgo por menor durabilidad,
- asimetrías de información sobre vida útil real.

Entonces:

$$CS = 10,000 \times 6$$

$$CS = 60,000$$

- Estimación de los Costos Regulatorios o Institucionales (CR):

Se asume que cada unidad adicional genera un impacto institucional promedio de 3.5 unidades monetarias, vinculado a:

- costos de supervisión y fiscalización,
- ajustes normativos futuros,
- provisiones regulatorias emergentes,
- exigencias de cumplimiento técnico.

Entonces:

$$CR = 10,000 \times 3.5$$

$$CR = 35,000$$

- Cálculo del CND y del modelo PAF+
Sumando los tres componentes:
 $CND = CA + CS + CR$
 $CND = 85,000 + 60,000 + 35,000$
 $CND = 180,000$
- Incorporando el CND al modelo ampliado:
 $CTC (PAF+) = 330,000 + 180,000$
 $CTC (PAF+) = 510,000$

La diferencia entre el modelo tradicional y el modelo ampliado es:

$$510,000 - 330,000 = 180,000$$

Lo que representa un incremento del:

$$(180,000 / 330,000) \times 100 = 54.5\%$$

Este resultado muestra que una organización puede aparentar eficiencia interna bajo el modelo PAF tradicional, mientras que, desde una perspectiva sistémica, el costo total asociado a sus decisiones estratégicas es significativamente mayor cuando se consideran los costos desplazados.

Aunque los valores utilizados corresponden a supuestos analíticos y no a datos empíricos observados, el ejercicio cumple una función de validación conceptual inicial del modelo PAF+, al mostrar que la incorporación del CND altera de manera significativa la estimación del costo total de la calidad cuando existen decisiones estratégicas que reducen la durabilidad. En este sentido, el ejemplo no pretende demostrar evidencia estadística, sino verificar la coherencia interna, plausibilidad analítica y capacidad explicativa del modelo propuesto frente a escenarios de obsolescencia programada.

Desde una perspectiva de toma de decisiones, el modelo PAF+ permite evaluar escenarios estratégicos alternativos en el diseño de productos. Por ejemplo, una organización puede comparar una estrategia de alta durabilidad, que implica mayor inversión en prevención, frente a una estrategia de reemplazo acelerado orientada a reducir costos iniciales. Mientras que el modelo PAF tradicional podría sugerir una aparente eficiencia al disminuir costos internos, el modelo PAF+ evidencia que dicha decisión puede incrementar significativamente el costo total sistémico debido al aumento del CND. En este sentido, el modelo permite identificar compensaciones intertemporales entre inversión en calidad y externalización de costos.

g) Extensión dinámica del modelo PAF+ (enfoque intertemporal)

Si bien la formulación presentada en (1) representa una aproximación estática del costo total de la calidad, en la práctica los componentes del modelo en particular el Costo de No Calidad Desplazado (CND), presentan una dinámica temporal asociada al ciclo de vida del producto o servicio, a la frecuencia de reemplazo y a la evolución del entorno regulatorio. Con el fin de incorporar dicha dinámica sin perder generalidad, se propone expresar el costo total de la calidad como una función del tiempo:

$$CTC(t) = C_P(t) + C_E(t) + C_{FI}(t) + C_{FE}(t) + C_{ND}(t) \quad (3)$$

donde cada término representa el costo en el instante t (o, de forma equivalente, una función de costo dependiente del tiempo). Bajo este enfoque, el costo total acumulado en un horizonte de análisis $[0, T]$ se obtiene mediante integración:

$$CTC_{acum}(0, T) = \int_0^T CTC(t) dt \quad (4)$$

De manera equivalente, el costo desplazado acumulado se expresa como:

$$CND_{acum}(0, T) = \int_0^T CND(t) dt \quad (5)$$

Esta representación permite capturar el carácter acumulativo del CND y, al mismo tiempo, facilita analizar escenarios en los que decisiones de diseño o estrategia modifican la trayectoria temporal de los costos. Por ejemplo, si se introduce una política de mayor durabilidad, reparabilidad o mantenibilidad, es esperable una reducción en la tasa de reemplazo y, por tanto, una disminución progresiva de CND(t) en el tiempo.

Adicionalmente, puede modelarse el cambio marginal en el costo total de la calidad mediante un diferencial total:

$$\frac{dCTC}{dx} = \frac{dCP}{dx} + \frac{dCE}{dx} + \frac{dCFI}{dx} + \frac{dCFE}{dx} + \frac{dCND}{dx} \quad (6)$$

lo cual permite interpretar la toma de decisiones en términos de compensaciones marginales. En particular, incrementos marginales en prevención ($dCP > 0$) podrían justificarse si producen reducciones marginales mayores en el costo desplazado ($dCND < 0$) y/o en fallas externas ($dCFE < 0$), mejorando así el costo total acumulado en el horizonte de análisis. Esta extensión dinámica conserva la aplicabilidad sectorial del modelo PAF+ y refuerza su utilidad para evaluar decisiones estratégicas bajo criterios intertemporales.

VI. SUPUESTOS Y LIMITACIONES DEL MODELO

El modelo propuesto presenta algunas limitaciones que deben ser reconocidas. En primer lugar, su desarrollo corresponde a una formulación teórico-analítica y, por tanto, no incorpora validación empírica basada en datos observados de un sector específico. En segundo lugar, la estimación del CND depende de supuestos razonables de medición y de la disponibilidad de información ambiental, social y regulatoria, lo que puede variar según industria, país y marco institucional. En tercer lugar, la delimitación entre costos externos tradicionales y costos desplazados puede requerir ajustes metodológicos adicionales en aplicaciones sectoriales concretas. No obstante, estas limitaciones no invalidan la utilidad del modelo, sino que delimitan su alcance actual como marco analítico orientado a ampliar la evaluación del costo total de la calidad en contextos de obsolescencia programada.

VII. DISCUSIÓN

La incorporación del Costo de No Calidad Desplazado (CND) en el modelo PAF+ no solo amplía el análisis interno de calidad, sino que permite vincularlo con tendencias regulatorias emergentes. En el ámbito europeo, recientes iniciativas legislativas orientadas a combatir el greenwashing y promover la transición ecológica buscan fortalecer la transparencia en la comunicación ambiental y limitar prácticas

asociadas a la obsolescencia programada [16]. Estas regulaciones evidencian un cambio progresivo hacia la internalización de impactos ambientales y sociales que, en términos del modelo propuesto, tienden a transformar parte del CND en costos regulatoriamente exigibles.

La originalidad del modelo PAF+ radica en que no se limita a reinterpretar el esquema clásico de costos de calidad, sino que incorpora una categoría analítica adicional destinada a capturar costos sistémicos externalizados que permanecen fuera del perímetro contable de la organización. A diferencia del modelo PAF tradicional, que asume fallas no intencionales y una lógica de optimización interna, la propuesta desarrollada en este estudio permite analizar contextos en los que la reducción de durabilidad constituye una decisión estratégica. De este modo, el modelo articula gestión de calidad, sostenibilidad, regulación y economía circular en una estructura integrada que amplía el alcance explicativo del costo total de la calidad.

Asimismo, el fortalecimiento del denominado “derecho a reparar” y las obligaciones de información sobre durabilidad del producto constituyen mecanismos orientados a corregir asimetrías entre productor y consumidor [11, 16]. Desde la perspectiva del modelo PAF+, estas políticas pueden interpretarse como instrumentos que buscan reducir el componente CA (costos ambientales) y CR (costos regulatorios) del CND, incentivando decisiones de diseño orientadas a mayor durabilidad y modularidad.

Por otra parte, estudios sobre percepción del consumidor indican que la conciencia ambiental influye crecientemente en las decisiones de compra, especialmente cuando existe evidencia de prácticas de obsolescencia o comunicación engañosa [13]. Este comportamiento introduce una dimensión reputacional adicional, que puede convertir parte del CND en CFE si se materializa en pérdida de confianza o disminución de demanda. En consecuencia, el modelo PAF+ permite anticipar que la externalización sistemática de costos podría transformarse en riesgo comercial en contextos de mayor sensibilidad ambiental.

En sectores específicos, como la industria tecnológica y la producción de bienes electrónicos, se ha documentado la creciente generación de residuos electrónicos y la baja tasa de reciclaje [4, 12]. Estos estudios refuerzan la necesidad de integrar la dimensión ambiental dentro del análisis de calidad, dado que el reemplazo acelerado no solo afecta al consumidor individual, sino que produce ineficiencias macroeconómicas asociadas a la pérdida de materiales estratégicos.

De manera similar, investigaciones sectoriales en ámbitos productivos no tecnológicos han evidenciado dinámicas de desperdicio y reducción indirecta de vida útil vinculadas a prácticas comerciales y estándares estéticos [5, 18]. Estas dinámicas amplían el alcance del modelo PAF+, demostrando

que el fenómeno no se restringe a dispositivos electrónicos, sino que puede manifestarse transversalmente en distintos sistemas productivos.

Desde la perspectiva contable, la progresiva incorporación de provisiones ambientales y obligaciones de responsabilidad extendida del productor implica que la frontera entre costo interno y costo desplazado tiende a reducirse [9, 17]. En la medida en que la regulación obligue a internalizar parte de estos impactos, el CND dejará de ser completamente externo, modificando la estructura del CTC y alterando la evaluación de rentabilidad de productos de baja durabilidad.

En términos estratégicos, el modelo PAF+ introduce una variable de análisis relevante para la toma de decisiones en ingeniería de diseño. La evaluación tradicional basada exclusivamente en reducción de CP puede resultar subóptima si genera incrementos significativos en CND a largo plazo. La integración de criterios de reparabilidad, modularidad y extensión de vida útil puede incrementar el CP inicial, pero reducir el costo sistémico total, alineándose con principios de sostenibilidad y responsabilidad corporativa [10, 15].

Desde el punto de vista organizacional, la incorporación del CND permite integrar la gestión de calidad con los sistemas de gestión ambiental y de sostenibilidad. En la práctica, los responsables de ingeniería y calidad pueden utilizar el modelo PAF+ para estimar el impacto de decisiones de diseño sobre la durabilidad, la reparabilidad y la frecuencia de reemplazo, incorporando estos efectos en la evaluación económica del producto. Asimismo, el modelo resulta relevante para áreas de cumplimiento normativo y sostenibilidad, al facilitar la identificación de riesgos regulatorios y reputacionales asociados a la externalización de costos, contribuyendo a una toma de decisiones más coherente con criterios de eficiencia y responsabilidad corporativa.

VIII. CONCLUSIONES

El análisis desarrollado evidencia que el modelo tradicional de costos de calidad (PAF), aunque ampliamente validado en contextos de mejora organizacional [7, 8], presenta limitaciones estructurales cuando la reducción de la vida útil del producto forma parte del diseño estratégico. La obsolescencia programada, entendida como mecanismo deliberado de aceleración del ciclo producción-consumo [1, 3], introduce efectos sistémicos que no son capturados por las categorías tradicionales de prevención, evaluación y fallas.

La principal contribución de este estudio consiste en la formulación del modelo PAF+, mediante la incorporación del Costo de No Calidad Desplazado (CND) como quinta categoría del costo total de la calidad.

Esta ampliación permite integrar dentro del análisis de gestión los costos ambientales, sociales y regulatorios derivados de la externalización asociada a la obsolescencia programada

[9, 10]. En consecuencia, el costo total deja de ser una variable exclusivamente interna para adquirir una dimensión sistémica coherente con las dinámicas contemporáneas de sostenibilidad y regulación.

Desde una perspectiva estratégica, el modelo PAF+ introduce un horizonte temporal ampliado en la evaluación de decisiones de diseño. La reducción deliberada del CP puede generar incrementos indirectos en CND, afectando la sostenibilidad real del producto aun cuando los indicadores tradicionales de fallas se mantengan controlados. Este hallazgo resulta particularmente relevante en contextos donde la regulación ambiental, la responsabilidad extendida del productor y la transparencia en comunicación comercial tienden a internalizar progresivamente externalidades previamente desplazadas [16, 17].

Asimismo, el modelo propuesto permite articular gestión de calidad, economía circular y contabilidad ambiental en un marco unificado. Aunque la economía circular promueve estrategias de reutilización y reciclaje, su efectividad depende de intervenciones en la fase de diseño que eviten la reducción deliberada de durabilidad. El CND opera como variable analítica que evidencia la existencia de costos sistémicos incluso en entornos formalmente circulares.

En términos prácticos, la aplicación del modelo PAF+ ofrece a organizaciones e ingenieros de diseño una herramienta conceptual para evaluar la coherencia entre desempeño financiero, impacto ambiental y responsabilidad corporativa. La inclusión del CND facilita la identificación de riesgos regulatorios y reputacionales que podrían afectar la viabilidad económica de estrategias basadas en obsolescencia acelerada. Como línea futura de investigación, se propone el desarrollo de metodologías cuantitativas que permitan estimar empíricamente el CND mediante análisis de ciclo de vida, indicadores sectoriales o integración con sistemas de contabilidad ambiental. Asimismo, resulta pertinente explorar la aplicación del modelo en estudios de caso sectoriales que permitan validar su operatividad y comparar estructuras de costo en contextos lineales y circulares.

En síntesis, el modelo PAF+ amplía el marco tradicional de costos de calidad al incorporar la dimensión sistémica de la obsolescencia programada, contribuyendo a una evaluación más integral del costo total asociado al diseño y gestión de productos en economías contemporáneas.

IX. AGRADECIMIENTO Y RECONOCIMIENTO

Los autores agradecen a la Universidad Bolivariana del Ecuador por el apoyo brindado en el desarrollo de esta investigación.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Noro, Jorge Eduardo, De la obsolescencia programada a la contingencia ontológica, Coloquio **4** (2019) 12–26.
- [2] Sapmaz Veral, Evren, Planned obsolescence: a hidden threat to environmental security and the recent eu policy, Sayıştay Dergisi **33** (2023) 637–664.
- [3] Sánchez, Demelsa Benito, El derecho penal ante la obsolescencia programada, Revista Penal México **2** (2024) 133–161.
- [4] Souza, Fernando Rodrigo, Fini, Fernanda, and Venanzi, Délvio, Economía circular y obsolescencia programada: estudio de caso en una empresa del sector electrónico, Revista Fatec Zona Sul **12** (2025) 1–19.
- [5] Moreno Blesa, Lidia, Competencia judicial internacional y Derecho aplicable en la obsolescencia programada (Parte I), Bitácora Millennium **5** (2017) 1–22.
- [6] Bianchi, Lúrena Vanina, La influencia del principio del consumo sustentable en el combate de la
- [11] Ibarra, R M, Obsolescencia programada en los TCG, una revisión, Revista de divulgación científica **2** (2025) 54–66.
- [12] Polanco Sagastume, Mara Luz, La obsolescencia programada. Un estudio sobre sus características en el capitalismo actual, sus repercusiones en el ambiente y las iniciativas adoptadas para evitarla, Revista Economía **237** (2023) 46–81.
- [13] Moreno Gavilanes, Kléver Armando, Miranda López, Rodrigo Fernando, and Vascónes Fuentes, José Luis, La obsolescencia programada y la pirámide de las necesidades: un estudio exploratorio a partir de la percepción del consumidor., Revista Publicando, 4 No **12** (2017) 730–751.
- [14] Pidelaserra, Jordi Martí, V Acto Internacional: Expedición científica a las Islas Galápagos, Quito y
- [18] Estrada Carrera, Flor María, Loo Zambrano, Halder Yandry, and Viteri Rade, Layla Yasmina, Reemplazo de personal humano por inteligencia artificial: ventajas y desventajas, Revista Digital Investigación & Negocios **15** (2022) 31–38.
- obsolescencia programada, la garantía de los “productos durables” y el derecho a la información de los consumidores en Argentina, Revista de Derecho Privado **34** (2018) 277–310.
- [7] Feola, Giuseppe, Trampas de la economía circular, Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente **13** (2024) 1–12.
- [8] Alincaastro, Agustín, ¿Qué hay de “programada” en la obsolescencia programada?, Hipertextos **12** (2024) 139–156.
- [9] Priede Bergamini, Tiziana, and Hilliard, Ivan, Responsabilidad Social Corporativa en la industria alimentaria, Economistas Sin Fronteras **35** (2019) 36–40.
- [10] Robles Martínez, Fabián, and Piña Guzmán, Ana Belem, *Encuentro de Expertos en Residuos Sólidos (Avances en el Estudio de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos)*, 2017.
- Guayaquil, Tribuna Plural La revista científica **25** (2022) 171–184.
- [15] Sedeño López, José Francisco, Medidas tributarias contra la obsolescencia programada en el marco de la economía circular: perspectiva comparada y posibles líneas de actuación (*), Crónica Tributaria **1** (2021) 159–189.
- [16] Europe, VVA Europe, Ipsos, ConPolicy and Trinomics. LE, *Behavioural Study on Consumers’ Engagement in the Circular Economy*, 2018.
- [17] González Lankenau, Carmen Leticia, and Ortega Rubí, María Estela, La Acumulación de Capital Impulsada desde el Consumo y la Obsolescencia Programada, Análisis desde la Perspectiva del Desarrollo Sustentable, Sostenibilidad Económica, Social y Ambiental **6** (2024) 47–60.