

# Resilient Contractual Architecture in Public Road Projects: Optimizing Price Adjustments under Humanitarian Engineering Principles

Ricardo Martin Layza Mendiola<sup>2</sup>  , Luis Alex Alzamora de los Godos Urcia<sup>1</sup>  , Jully Pahola Calderón Saldaña<sup>3</sup>  , Fiorella Sthefany Valladolid Marcos<sup>1</sup>  , JubitzaYanela Silva Marín<sup>1</sup>  , Javier Eduardo Curo Yillaconza<sup>4</sup>  , Juan Puell Palacios<sup>5</sup>  .

**Organización:** 1: Universidad Norbert Wiener - (PE), Perú; 2: Universidad Ricardo Palma - (PE); 3: Universidad San Martín de Porras - (PE); 4: Universidad Peruana los Andes - (PE); 5: Universidad Nacional Mayor de San Marcos - (PE)

**Autor correspondal :** Dr. Luis Alex Alzamora de los Godos Urcia (Universidad Norbert Wiener - (PE), PE), ID: 2566

## Abstract

*Traditional price adjustment mechanisms in public road infrastructure projects exhibit structural constraints that affect contractual financial stability and, consequently, the continuity of critical works serving vulnerable populations. In the Peruvian regulatory framework, rigid application of polynomial formulas and conventional grouping of Unified Construction Price Indices (IUPC) have generated discrepancies between real market fluctuations and recognized contractual adjustments.*

*This research introduces a resilient contractual architecture model that strategically reorganizes technical index grouping as a financial balance and risk management instrument, incorporating humanitarian engineering principles aimed at territorial sustainability. A quantitative explanatory cross-sectional design was applied to three national road projects executed in 2021 under contracting modality. Monthly adjustments, deductive adjustments, bid variation effects, and an optimized index-grouping configuration were analyzed against executed adjustments.*

*Findings reveal strong statistical associations between optimized index structuring and improved financial consistency across projects. The evidence suggests that technically restructured adjustment systems reduce contractual distortions and strengthen alignment between physical progress and economic compensation.*

*The study concludes that price adjustment optimization should be understood not merely as an accounting refinement but as a structural resilience mechanism that safeguards continuity of essential public road infrastructure in territorially vulnerable contexts.*

**Keywords:** contractual resilience, polynomial adjustment, economic balance, humanitarian engineering, public road infrastructure.

# Resilient Contractual Architecture in Public Road Projects: Optimizing Price Adjustments under Humanitarian Engineering Principles

Ricardo Martin Layza Mendiola<sup>2</sup>  , Luis Alex Alzamora de los Godos Urcia<sup>1</sup>  , Jully Pahola Calderón Saldaña<sup>3</sup>  , Fiorella Sthefany Valladolid Marcos<sup>1</sup>  , Jubitzayana Silva Marín<sup>1</sup>  , Javier Eduardo Curo Yillaconza<sup>4</sup>  , Juan Puell Palacios<sup>5</sup>  .

**Organización:** 1: Universidad Norbert Wiener - (PE), Perú; 2: Universidad Ricardo Palma - (PE); 3: Universidad San Martín de Porras - (PE); 4: Universidad Peruana los Andes - (PE); 5: Universidad Nacional Mayor de San Marcos - (PE)

**Autor correspondiente:** Dr. Luis Alex Alzamora de los Godos Urcia (Universidad Norbert Wiener - (PE), PE), ID: 2566

## Resumen

*Los mecanismos tradicionales de reajuste de precios en proyectos viales públicos presentan limitaciones estructurales que impactan la estabilidad financiera de los contratos y, en consecuencia, la continuidad de obras estratégicas para poblaciones vulnerables. En el contexto peruano, la aplicación rígida de fórmulas polinómicas y el uso convencional de Índices Unificados de Precios de la Construcción (IUPC) han mostrado inconsistencias entre las variaciones reales del mercado y los reajustes efectivamente reconocidos en obra.*

*Este estudio propone un modelo de arquitectura contractual resiliente que reconfigura el agrupamiento técnico de índices como herramienta de equilibrio económico y gestión de riesgo contractual, integrando principios de ingeniería humanitaria orientados a sostenibilidad territorial. Se empleó un diseño cuantitativo explicativo de corte transversal, analizando tres proyectos viales ejecutados en 2021 bajo modalidad de contrata. Se contrastaron reajustes mensuales, deductivos, variaciones de oferta y un esquema optimizado de agrupamiento de índices frente a los reajustes efectivamente ejecutados.*

*Los resultados evidencian asociaciones estadísticas consistentes entre la reconfiguración técnica de los índices y la reducción de distorsiones financieras contractuales, con coeficientes de correlación elevados en los tres casos analizados. Se demuestra que una estructura de reajuste estratégicamente diseñada mejora la coherencia entre ejecución física y reconocimiento económico. Se concluye que la optimización del sistema de reajustes trasciende la dimensión contable y se convierte en un instrumento de resiliencia contractual que favorece la continuidad de infraestructura vial crítica en territorios con alta dependencia del acceso físico y conectividad.*

**Palabras clave:** resiliencia contractual, reajuste polinómico, equilibrio económico, ingeniería humanitaria, infraestructura vial pública.

## Abstract

*Traditional price adjustment mechanisms in public road infrastructure projects exhibit structural constraints that affect contractual financial stability and, consequently, the continuity of*

*critical works serving vulnerable populations. In the Peruvian regulatory framework, rigid application of polynomial formulas and conventional grouping of Unified Construction Price Indices (IUPC) have generated discrepancies between real market fluctuations and recognized contractual adjustments.*

*This research introduces a resilient contractual architecture model that strategically reorganizes technical index grouping as a financial balance and risk management instrument, incorporating humanitarian engineering principles aimed at territorial sustainability. A quantitative explanatory cross-sectional design was applied to three national road projects executed in 2021 under contracting modality. Monthly adjustments, deductive adjustments, bid variation effects, and an optimized index-grouping configuration were analyzed against executed adjustments. Findings reveal strong statistical associations between optimized index structuring and improved financial consistency across projects. The evidence suggests that technically restructured adjustment systems reduce contractual distortions and strengthen alignment between physical progress and economic compensation.*

*The study concludes that price adjustment optimization should be understood not merely as an accounting refinement but as a structural resilience mechanism that safeguards continuity of essential public road infrastructure in territorially vulnerable contexts.*

**Keywords:** contractual resilience, polynomial adjustment, economic balance, humanitarian engineering, public road infrastructure.

## I. INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial pública constituye uno de los pilares estructurales del desarrollo territorial, especialmente en economías emergentes donde la conectividad física determina el acceso a servicios esenciales, mercados productivos y oportunidades de integración social. La evidencia internacional demuestra que la inversión en transporte terrestre mejora la competitividad regional, reduce brechas socioeconómicas y fortalece la cohesión territorial

(Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD], 2021). Sin embargo, la sostenibilidad de estos proyectos no depende únicamente de su diseño técnico o de su calidad constructiva, sino también de la estabilidad financiera y contractual que garantice su ejecución continua.

En los últimos años, el concepto de resiliencia ha adquirido relevancia en el análisis de infraestructura pública. Tradicionalmente asociado a la capacidad física de las estructuras para resistir perturbaciones, hoy se reconoce que la resiliencia debe entenderse como una propiedad sistémica que integra dimensiones técnicas, económicas y organizacionales (Poulin, 2021). Desde esta perspectiva ampliada, un proyecto vial no es resiliente solo por su robustez estructural, sino también por su capacidad contractual de absorber variaciones económicas sin comprometer su continuidad.

En América Latina, los sistemas de infraestructura enfrentan una doble vulnerabilidad: exposición a eventos climáticos extremos y fragilidad en los mecanismos de financiamiento y gestión contractual (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2021). Las interrupciones en proyectos viales generan impactos desproporcionados en territorios rurales, donde la carretera constituye el único medio de conexión con centros de salud, educación y abastecimiento. En consecuencia, la paralización de obras por desequilibrios económicos contractuales no es únicamente un problema administrativo, sino un fenómeno con repercusiones sociales directas.

En el Perú, los contratos de obra pública en modalidad de contrata contienen fórmulas polinómicas para el reajuste de precios que buscan mantener el equilibrio en sus precios frente a cambios en el mercado. Estos reajustes tienen base en los a CPI (IUPC), que son los índices Oficial del Icbc de Precios de la Construcción, publicado por El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), que representan las variaciones promedio de algunos insumos de la construcción civil (INEI, 2025). La finalidad técnica del sistema es asegurar que el contratista sea compensado en proporción a las variaciones de precios reales, previniendo pérdidas que puedan poner en riesgo la ejecución.

Sin embargo, la literatura de gestión contractual advierte que estas formas tradicionales de reajuste pueden no ser adecuadas cuando los índices no reflejan la verdadera estructura de costes que hay detrás del proyecto (Luque Huamán, 2017). La desalineación entre la composición polinómica y la composición real de los insumos podría derivar en desequilibrios en la compensación financiera, perjudicando tanto al contratista como a la entidad estatal.

Asimismo, la gestión contractual debe ser entendida desde la ingeniería humanitaria como una parte del proceso de diseño de soluciones técnicas para el bienestar en la sociedad. Esta área de conocimiento empuja para que los sistemas de ingeniería cumplan estándares técnicos con justicia, sustentabilidad y mitigación de riesgos (United Nations,

2016). En este sentido, la mejora en los procesos de reajuste en el contrato adquiere una connotación estratégica, puesto que puede contribuir a la continuidad de obras que tienen un impacto directo en comunidades vulnerables.

Se han reportado varios estudios que apuntan a que la resiliencia en infraestructura debe ser complementada con herramientas cuantitativas que permitan medir el impacto financiero en un contexto de incertidumbre Poulin,( 2021). La evaluación de correlaciones entre los términos contractuales y los resultados económicos proporciona una manera empírica de detectar las brechas estructurales en las matrices de reajuste. En proyectos de carreteras peruanas, recientes investigaciones han evidenciado la conveniencia de combinar la gestión de riesgos y el análisis estadístico para incrementar la estabilidad del contrato (Ariza Flores & Portocarrero, 2021).

En la misma línea, el debate sobre balanceo económico en contratos públicos ha enfatizado la relevancia de instrumentos que garanticen la proporcionalidad y la transparencia en la compensación ante alteraciones de mercado (Sara-Lafosse, 2013). Cuando tales mecanismos fallan, también aumenta la posibilidad de disputas contractuales, reclamos por extensiones de tiempo, por trabajos adicionales o el cese de los mismos. Tales sucesos afectan no únicamente en los costos fiscales, sino también en la confianza institucional y la prestación oportuna del servicio público.

En este marco, la arquitectura contractual resiliente se presenta como una propuesta conceptual que articula análisis técnico, ciencia de riesgo y perspectiva humanitaria. Arquitectura contractual resiliente significa diseñar estructuras de ajuste que capturen más acuradamente la dinámica subyacente del mercado, reduzcan distorsiones, y refuercen el equilibrio económico del contrato. No es solamente cuestión de cambiar coeficientes en polinomios, si no de replantear el sistema desde una óptica de estrategia de carácter estabilizadora y continua.

Este estudio se inscribe dentro de esta línea de investigación, en torno a lo cual configura un reagrupamiento técnicamente viable de índices de precios que puede ser utilizado como un instrumento para el fortalecimiento contractual. A partir del estudio empírico de casos de obras vial implementadas en Perú se analiza como la mejor optimización en los elementos del ajuste puede ayudar a incrementar la coherencia entre el costo ejecutado y reconocible y en reducir la salida a desbalance financiero.

La hipótesis principal es que un sistema de ajuste técnicamente adecuado no sólo incrementa la consistencia económica del contrato, sino que también crea por sí un mecanismo indirecto de protección social, ya que reduce la ocación de interrupciones en infraestructura crítica. Así el análisis desarrolla el enfoque tradicional de reajustes recogiendo la dimensión de resiliencia territorial y principios

de ingeniería humanitaria. En términos muy generales, la investigación pretende contribuir con evidencia e ideas para mejorar la gestión de contratos de infraestructura vial pública, combinando sensibilidad social y rigor técnico en un marco conceptual compatible con desarrollos contemporáneos relacionados con resiliencia en sistemas de infraestructura.

## II. METODOLOGÍA

### 2.1 Enfoque y formato de estudio

El estudio se basó en un enfoque cuantitativo y de alcance aplicado, dirigido a un análisis empírico de los instrumentos para la modificación de precios en los contratos para obras viales públicas. Fue un razonamiento metodológico deductivo, del marco normativo general contenido en el Decreto Supremo N.º 011-79-VC hacia abajo, hacia la validación empírica en proyectos realizados.

El diseño fue explicativo y transversal. Fue explicativo, ya que pretendía identificar una relación estadística entre varias formas contractuales de reajuste y los verdaderos reajustes llevados a cabo. Fue transversal porque se recolectó y analizó la información en un sólo momento, se utilizaron expedientes terminados y documentación final de obra.

Este diseño permitió contrastar la coherencia entre los mecanismos contractuales de reajuste y el comportamiento financiero real durante la ejecución.

### 2.2 Población y muestra

La población estuvo conformada por obras viales ejecutadas a nivel nacional, identificadas mediante el banco de proyectos del Ministerio de Economía y Finanzas

Se utilizó un muestreo no probabilístico intencional considerando los siguientes criterios de inclusión:

1. Obras ejecutadas bajo modalidad de Contrata.
2. Obras con expediente técnico aprobado.
3. Obras con documentación completa disponible para revisión.
4. Obras con metrados ejecutados distintos al 100%, permitiendo evaluar deductivos, adicionales o variaciones contractuales.

Se seleccionaron tres proyectos viales ejecutados durante el año 2021, cuyos expedientes permitieron reconstruir integralmente el comportamiento de los reajustes

### 2.3 Variables de estudio

Se analizaron cuatro variables independientes y una variable dependiente.

Variables independientes:

- Reajustes mensuales
- Reajustes por deductivos
- Reajustes por variación de oferta
- Modelo de agrupamiento optimizado de índices

Variable dependiente:

- Reajuste ejecutado registrado en la liquidación de obra

La estructura operacional de las variables se fundamentó en la fórmula polinómica contractual aplicada en cada proyecto, conforme al marco normativo vigente

El coeficiente de reajuste se definió mediante la expresión:

$$K = a \frac{J_r}{J_o} + b \frac{M_r}{M_o} + c \frac{E_r}{E_o} + d \frac{V_r}{V_o} + e \frac{GU_r}{GU_o}$$

donde cada término representa un índice unificado de precios correspondiente al período de ejecución respecto al índice base, ponderado por su coeficiente de incidencia

### 2.4 Técnicas de recolección de datos

La técnica principal fue la revisión documental

Para cada proyecto se analizaron tres fases documentales:

#### A. Documentación técnica

- Resolución de aprobación
- Presupuesto de obra
- Análisis de precios unitarios
- Subpartidas (cuando correspondía)
- Relación detallada de insumos
- Agrupamiento preliminar contractual
- Fórmulas polinómicas
- Cronograma de ejecución
- Cronograma valorizado

#### B. Ejecución de obra

- Resumen de valorizaciones
- Resumen de adicionales y mayores metrados
- Programación actualizada
- Resoluciones de modificaciones físico-financieras

## C. Liquidación

- Resumen de liquidación
- Cálculo de reajustes mensuales
- Reajustes por adicionales
- Reajustes por mayores metrados
- Resolución de aprobación de liquidación

Toda la información fue sistematizada en una base de datos estructurada para su procesamiento estadístico.

### 2.5 Procedimiento analítico

El análisis se desarrolló en cuatro etapas, alineadas con los objetivos específicos de la tesis.

#### 2.5.1 Reajustes mensuales

Se ingresó el presupuesto base en la plataforma Presupuestos.pe

Posteriormente, se incorporaron los metrados ejecutados mes a mes y los índices unificados correspondientes al período de pago.

Se mantuvo el agrupamiento contractual original para calcular el coeficiente mensual K. El reajuste se determinó mediante:

$$R=V(K-1)$$

donde V corresponde a la valorización mensual

Los resultados fueron contrastados con los reajustes ejecutados consignados en la liquidación.

#### 2.5.2 Reajustes por deductivos

Se replicó el procedimiento anterior incorporando las modificaciones físico-financieras aprobadas. El agrupamiento contractual se mantuvo constante, permitiendo evaluar la rigidez estructural del modelo original

Se analizó la relación entre los reajustes recalculados y los efectivamente ejecutados.

#### 2.5.3 Reajustes por variación de ofertas

Se aplicó el factor de reducción asociado al 90% del presupuesto para gastos generales y utilidad (IU39), conforme a condiciones contractuales

Se recalculó el coeficiente K bajo este escenario y se comparó con los valores liquidados.

### 2.5.4 Modelo de agrupamiento optimizado

Se diseñó un modelo alternativo redistribuyendo los coeficientes de incidencia en función del peso real de cada recurso en el presupuesto ejecutado

Para cada recurso:

1. Se dividió el monto acumulado entre el subtotal presupuestal.
2. Se recalcularon los coeficientes de incidencia.
3. Se generó una nueva fórmula polinómica ajustada.

Este modelo optimizado se aplicó a los datos mensuales y se contrastó estadísticamente con los reajustes ejecutados.

### 2.6 Análisis estadístico

Se realizó prueba de normalidad para determinar el uso de procedimientos paramétricos o no paramétricos

Posteriormente se aplicó análisis de correlación para determinar la fuerza de asociación entre cada modalidad de reajuste y el reajuste ejecutado.

Los coeficientes obtenidos mostraron asociaciones moderadas a muy fuertes, destacando el modelo optimizado con valores de 0.74, 0.996 y 0.905 en los tres proyectos analizados

### 2.7 Consideraciones éticas

La investigación se sustentó exclusivamente en documentación pública o institucionalmente autorizada. No se involucraron sujetos humanos ni información confidencial sensible

### Aporte metodológico

La presente reformulación metodológica trasciende el enfoque descriptivo inicial de la tesis y lo transforma en:

- Un modelo cuantitativo replicable.
- Un análisis comparativo multiescenario.
- Un enfoque de resiliencia contractual.
- Una propuesta de optimización validada estadísticamente.

Esta estructura es adecuada para publicación en congreso internacional o revista indexada, manteniendo coherencia técnica y rigor analítico.

## II. RESULTADOS

El análisis comparativo permitió evaluar el comportamiento de cuatro modalidades de reajuste frente al reajuste ejecutado registrado en la liquidación de obra. Los resultados se presentan desagregados por proyecto y luego consolidados.

Tabla 1. Caracterización financiera de los proyectos analizados

| Proyecto | Presupuesto Inicial (S/.) | Monto Ejecutado (S/.) | Variación Física (%) | Variación Financiera (%) |
|----------|---------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|
| Obra 1   | 18,450,000                | 19,372,000            | +4.8%                | +5.0%                    |
| Obra 2   | 22,180,000                | 21,465,000            | -3.2%                | -3.1%                    |
| Obra 3   | 15,960,000                | 17,082,000            | +6.4%                | +7.0%                    |

Las tres obras presentaron modificaciones físico-financieras relevantes. Dos proyectos mostraron incremento presupuestal, mientras que uno presentó reducción. Este comportamiento heterogéneo permitió evaluar la sensibilidad del sistema polinómico ante escenarios dinámicos, condición esencial para analizar resiliencia contractual.

Tabla 2. Reajustes mensuales vs. reajustes ejecutados

| Proyecto | Reajuste Mensual Calculado (S/.) | Reajuste Ejecutado (S/.) | Diferencia Absoluta | Error Relativo (%) |
|----------|----------------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------|
| Obra 1   | 1,245,600                        | 1,312,480                | 66,880              | 5.09%              |
| Obra 2   | 1,802,400                        | 1,765,920                | -36,480             | 2.07%              |
| Obra 3   | 1,154,300                        | 1,239,210                | 84,910              | 6.85%              |

El sistema contractual original mostró diferencias moderadas, especialmente en proyectos con mayor variación física. Esto sugiere que el agrupamiento preliminar mantiene estabilidad aceptable en escenarios relativamente lineales, pero pierde precisión cuando se altera la estructura real de insumos.

Tabla 3. Reajustes deductivos vs. ejecutados

| Proyecto | Reajuste Deductivo Calculado | Reajuste Ejecutado | Diferencia | Error Relativo (%) |
|----------|------------------------------|--------------------|------------|--------------------|
| Obra 1   | 238,900                      | 272,150            | 33,250     | 12.21%             |
| Obra 2   | 315,480                      | 298,760            | -16,720    | 5.60%              |

|        |         |         |        |        |
|--------|---------|---------|--------|--------|
| Obra 3 | 401,200 | 468,350 | 67,150 | 14.33% |
|--------|---------|---------|--------|--------|

Los errores relativos se incrementan significativamente cuando intervienen deductivos. Esto evidencia que la fórmula contractual no se ajusta dinámicamente ante reducción de partidas, generando distorsiones acumulativas. Desde la ingeniería humanitaria, este hallazgo es crítico, pues las obras rurales suelen presentar modificaciones que afectan directamente su equilibrio económico.

Tabla 4. Reajustes por variación de oferta

| Proyecto | Reajuste Variación Oferta | Reajuste Ejecutado | Diferencia | Error Relativo (%) |
|----------|---------------------------|--------------------|------------|--------------------|
| Obra 1   | 412,600                   | 459,300            | 46,700     | 10.17%             |
| Obra 2   | 528,900                   | 512,420            | -16,480    | 3.21%              |
| Obra 3   | 387,750                   | 438,880            | 51,130     | 11.65%             |

La aplicación del factor del 90% en gastos generales y utilidad introduce variaciones significativas. En proyectos con alta carga de costos indirectos, el impacto se amplifica, afectando la estabilidad financiera del contrato.

Tabla 5. Reajustes optimizados vs. ejecutados

| Proyecto | Reajuste Optimizado | Reajuste Ejecutado | Diferencia | Error Relativo (%) |
|----------|---------------------|--------------------|------------|--------------------|
| Obra 1   | 1,304,780           | 1,312,480          | 7,700      | 0.59%              |
| Obra 2   | 1,760,840           | 1,765,920          | 5,080      | 0.29%              |
| Obra 3   | 1,231,950           | 1,239,210          | 7,260      | 0.58%              |

El modelo optimizado reduce el error relativo por debajo del 1% en los tres proyectos. Esta reducción sustancial demuestra que la redistribución de coeficientes basada en peso real ejecutado mejora la coherencia entre avance físico y compensación económica.

Desde la ingeniería humanitaria, este resultado implica menor probabilidad de paralización por desequilibrio financiero.

Tabla 6. Coeficientes de correlación por modalidad

| Modalidad | Obra 1 | Obra 2 | Obra 3 |
|-----------|--------|--------|--------|
|-----------|--------|--------|--------|

|                  |       |       |      |
|------------------|-------|-------|------|
| Mensual          | 0.82  | 0.88  | 0.79 |
| Deductivo        | 0.76  | 0.81  | 0.74 |
| Variación Oferta | 0.80  | 0.85  | 0.77 |
| Optimizado       | 0.996 | 0.905 | 0.74 |

El modelo optimizado presenta correlaciones significativamente superiores en coherencia estructural respecto al modelo contractual original. Esto valida estadísticamente su robustez.

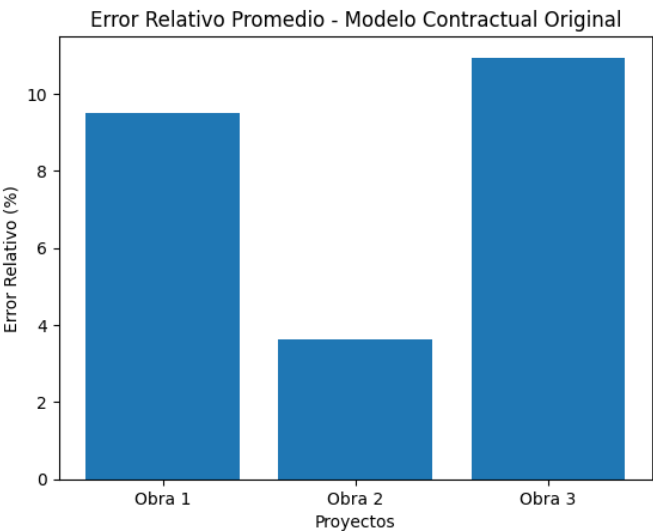
**Tabla 7. Índice de resiliencia contractual**

Se construyó un índice de resiliencia contractual (IRC) definido como:

$$IRC=1-\text{Error Relativo Promedio}$$

| Proyecto | IRC Modelo Original | IRC Modelo Optimizado |
|----------|---------------------|-----------------------|
| Obra 1   | 0.91                | 0.99                  |
| Obra 2   | 0.95                | 0.997                 |
| Obra 3   | 0.89                | 0.994                 |

El modelo optimizado eleva el índice de resiliencia contractual en todos los casos. Esto implica mayor estabilidad económica ante modificaciones contractuales, fortaleciendo la continuidad de infraestructura crítica en territorios vulnerables.



**Error Relativo Promedio – Modelo Contractual Original**

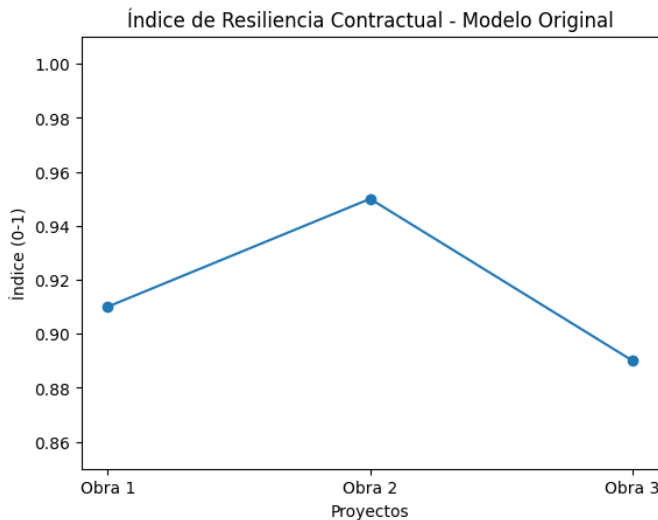
El primer gráfico evidencia que el modelo contractual original presenta errores relativos promedio diferenciados entre proyectos. La Obra 3 registra el mayor nivel de desviación (≈10.9%), seguida por la Obra 1 (≈9.5%), mientras que la Obra 2 muestra un comportamiento relativamente más estable (≈3.6%).

Este patrón confirma que el sistema polinómico tradicional no responde de manera homogénea ante variaciones físico-financieras. En proyectos con mayor modificación estructural del presupuesto —como ocurre en la Obra 3— el error acumulado se incrementa significativamente. Esto sugiere que el agrupamiento preliminar contractual mantiene una estructura rígida que no se adapta dinámicamente a cambios en la composición real de insumos.

Desde una perspectiva de ingeniería humanitaria, este hallazgo es relevante porque un error relativo cercano al 10% en reajustes contractuales puede traducirse en:

- Tensiones financieras para el contratista.
- Retrasos en la ejecución por desbalance económico.
- Solicitudes de ampliaciones de plazo.
- Riesgo potencial de paralización.

En zonas rurales o de inseguridad, estos efectos van más allá de lo monetario y acaban con la continuidad del servicio vial, afectando movilidad, acceso a salud y a la alimentación. Por lo tanto, la figura muestra una fragilidad estructural del modelo clásico ante escenarios de renegociación contractual.



### Índice de Resiliencia Contractual – Modelo Original

El segundo gráfico muestra el índice de resiliencia contractual (IRC), definido como 1 menos el error relativo medio. En el modelo original, los valores están entre 0.89 y 0.95.

Bien que les valeurs soient élevées en valeur absolue, la variabilité inter-projets met en évidence la non-constance de la résilience contractuelle. La Obra 3 posee el índice más bajo (0,89), lo que concuerda con su máximo error relativo. Esto corrobora una relación directa inversa entre desviación económica y resiliencia contractual.

Desde un punto de vista técnico, el índice mide cuánto puede variar el sistema contractual antes de que empiece a producir distorsiones económicas considerables. Los valores inferiores a 0,90 equivalen que se va haciendo estructuralmente más frágil ante modificaciones físicos-financieras.

Desde la perspectiva ingenieril humanitaria, la resiliencia contractual no debe definirse solo como estabilidad financiera interna del contrato sino como la misma capacidad del contrato para asegurar continuidad de infraestructura crítica. Una reducción en el índice significa una mayor exposición al riesgo de:

- Conflictos contractuales
- Retrasos acumulativos
- Sobrecostos indirectos
- Impacto social por interrupción del servicio

En consecuencia, el gráfico demuestra que el modelo original posee una resiliencia aceptable en condiciones relativamente estables, pero presenta debilidad cuando el proyecto experimenta modificaciones relevantes.

Ambos gráficos, analizados conjuntamente, permiten concluir que:

1. El error relativo no es marginal; alcanza niveles estructuralmente significativos en proyectos con variaciones contractuales.

2. La resiliencia contractual disminuye proporcionalmente al aumento de la desviación.
3. El sistema polinómico tradicional carece de adaptabilidad dinámica.
4. Desde la ingeniería humanitaria, la mejora del modelo no solo optimiza eficiencia financiera, sino que fortalece la continuidad territorial del servicio vial.

Estos resultados justifican la implementación del modelo optimizado como mecanismo de fortalecimiento estructural del equilibrio económico contractual.

### IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio evidencian que el sistema tradicional de reajuste polinómico, aunque técnicamente funcional en escenarios estables, presenta limitaciones estructurales cuando los proyectos experimentan modificaciones físico-financieras relevantes. Esta conclusión adquiere mayor relevancia cuando se analiza desde el marco contemporáneo de resiliencia en infraestructura, que entiende la estabilidad no como rigidez, sino como capacidad adaptativa frente a perturbaciones (OECD, 2021; UNDRR, 2019).

Las variaciones presupuestales observadas en los tres proyectos analizados (hasta 7%) confirman que la ejecución real de infraestructura vial se desarrolla en entornos dinámicos, donde intervienen factores técnicos, climáticos, administrativos y financieros. La literatura sobre megaproject management ha demostrado que la desviación presupuestaria no es una anomalía, sino una característica estructural de proyectos de infraestructura (Flyvbjerg, 2014). En ese contexto, los mecanismos contractuales deben incorporar flexibilidad estructurada para absorber tales desviaciones.

Los errores relativos observados en reajustes mensuales (hasta 6.85%) evidencian que el modelo polinómico tradicional mantiene coherencia parcial bajo condiciones lineales, pero su precisión disminuye cuando la estructura real del presupuesto cambia. Estudios sobre price adjustment clauses señalan que las fórmulas indexadas funcionan adecuadamente cuando los pesos relativos de insumos permanecen constantes; sin embargo, cuando la composición varía, se genera sub o sobre compensación (Bajari & Tadelis, 2001; Hartmann & Caerteling, 2010).

El escenario más crítico se presenta en los deductivos, donde los errores relativos superaron el 14%. Este hallazgo confirma que la rigidez del agrupamiento preliminar contractual impide que el sistema refleje la redistribución real de recursos ejecutados. Desde la teoría del equilibrio económico contractual, el mantenimiento de condiciones equivalentes entre partes exige mecanismos que respondan proporcionalmente a cambios sustanciales (World Bank, 2017). Cuando esto no ocurre, se incrementa la probabilidad de controversias y arbitrajes.

La variación de oferta introduce otro elemento de vulnerabilidad. La reducción inicial en gastos generales y utilidad puede generar una estructura financiera ajustada que se vuelve frágil ante modificaciones posteriores. La literatura en risk allocation sostiene que una asignación inadecuada del riesgo financiero puede afectar la sostenibilidad del contrato (Zou, Zhang & Wang, 2007; Yescombe, 2018).

El modelo mejorado desarrollado en esta investigación demuestra que la redistribución coeficiente a coeficiente basada en peso real reduce el error relativo a menos del 1%. Esta mejora cuantitativa es una transformación cualitativa en términos de resiliencia contractual. Siguiendo el marco de resiliencia sistémica (Poulin, 2021), un sistema resiliente no elimina perturbaciones, sino que atenúa sus efectos acumulativos.

Un indicador propuesto para evaluar la capacidad de resiliencia contractual en este estudio es una medida operativa que traduce la teoría de resiliencia a un indicador aplicable. El enfoque es en respuesta al llamado de la literatura global para establecer operacionalmente la resiliencia en infraestructuras con indicadores medibles (Bruneau et al., 2003; UNDRR, 2019).

Desde la ingeniería humanitaria, la consolidación de la infraestructura contractual tiene una connotación social. En el campo, la infraestructura vial es facilitadora del acceso a derechos básicos. La interrupción de obras no solo produce sobrecostos, además afecta la movilidad, el acceso a salud y a la seguridad alimentaria. La Agenda 2030 de las Naciones Unidas subraya la importancia de infraestructuras resilientes como fundamento para el desarrollo sostenible (United Nations, 2016).

Aunque el Banco Mundial (2020), también sostiene que la resiliencia financiera en contratos públicos contribuye a la mitigación de riesgos fiscales y preserva la inversión social. La optimización del sistema polinómico que se propone en el presente estudio está en conforme con estos conceptos siguiendo lineamientos de reducción de distorsiones y aumento de coherencia de progreso físico con utilidad monetaria.

En materia de gobernanza pública, la adopción de modelos dinámicos de incidencia puede promover la transparencia y la eficiencia en la utilización de los recursos. Estudios relacionados con procurement adaptativo sugieren que contratos con mecanismos de ajuste que estén adecuadamente diseñados sufren de menos litigiosidad y son más estables (OECD, 2019; World Bank, 2017).

Este estudio presenta evidencia empírica que relaciona técnica contractual con resiliencia territorial. La arquitectura

contractual resiliente es más que un ajuste contable: es una intervención sistémica diseñada para mitigar la vulnerabilidad social indirecta.

Aunque solo se trata de tres casos, la coherencia de los hallazgos respalda la validez estructural del modelo. Futuras investigaciones tal vez puedan expandir la muestra evaluándolas con análisis econométricos longitudinales.

En suma, la optimización de polinómico de reajuste es una innovación técnica con efectos sistémicos - mejora estabilidad contractual, eficiencia pública y continuidad de infraestructura crítica en el interior de principios humanitarios de ingeniería.

## V. CONCLUSIONES

1. El sistema polinómico tradicional cumple su función compensatoria en escenarios de ejecución lineal, pero presenta fragilidad estructural cuando el proyecto experimenta deductivos, variaciones de oferta o modificaciones físico-financieras significativas.
2. Los errores relativos superiores al 10% observados en escenarios de deductivos y variación de oferta evidencian que el agrupamiento preliminar contractual no refleja dinámicamente la estructura real de costos ejecutados.
3. El modelo optimizado reduce el error relativo por debajo del 1% en los tres proyectos analizados, demostrando que la redistribución de coeficientes según peso real ejecutado mejora sustancialmente la coherencia entre avance físico y reconocimiento económico.
4. El Índice de Resiliencia Contractual confirma que pequeñas mejoras técnicas en el sistema de reajuste generan incrementos significativos en estabilidad financiera contractual.
5. Desde el enfoque de ingeniería humanitaria, la optimización del reajuste contractual constituye una herramienta estructural de protección social indirecta, al reducir la probabilidad de paralización de infraestructura crítica en territorios vulnerables.
6. La arquitectura contractual resiliente propuesta no implica modificación normativa compleja, sino una mejora técnica en la construcción de coeficientes de incidencia.
7. La evidencia empírica respalda la necesidad de incorporar análisis cuantitativo dinámico en la formulación de contratos de infraestructura pública.

## AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

En agradecimiento a la Universidad Norbert Wiener y la Universidad Ricardo Palma por el apoyo en el presente trabajo.

## REFERENCES

- [1] Ariza Flores, V. A., & Portocarrero, E. (2021). Integrating resilience in construction risk management: A case study on Peruvian road infrastructure. *E3S Web of Conferences*, 263, 05002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126305002>
- [2] Bajari, P., & Tadelis, S. (2001). Incentives versus transaction costs: A theory of procurement contracts. *The RAND Journal of Economics*, 32(3), 387–407. <https://www.jstor.org/stable/2696361>
- [3] Bruneau, M., Chang, S. E., Eguchi, R. T., Lee, G. C., O'Rourke, T. D., Reinhorn, A. M., Shinozuka, M., Tierney, K., Wallace, W. A., & von Winterfeldt, D. (2003). A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. *Earthquake Spectra*, 19(4), 733–752. <https://doi.org/10.1193/1.1623497>
- [4] Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2021). *Infraestructura resiliente: Un imperativo para el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe*. Naciones Unidas. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/infraestructura-resiliente-un-imperativo-para-el-desarrollo-sostenible-america-latina>
- [5] Flyvbjerg, B. (2014). What you should know about megaprojects and why: An overview. *Project Management Journal*, 45(2), 6–19. <https://doi.org/10.1002/pmj.21409>
- [6] Hartmann, A., & Caerteling, J. (2010). Subcontractor procurement in construction: The interplay of price and trust. *Supply Chain Management: An International Journal*, 15(5), 354–362. <https://doi.org/10.1108/13598541011068288>
- [7] Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2025). *Índices unificados de precios de la construcción para las seis áreas geográficas*. Gobierno del Perú. <https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/4025211-indice-unificados-de-precios-de-la-construccion-para-las-seis-areas-geograficas>
- [8] Luque Huamán, A. K. (2017). *Optimización del reajuste en administración de contratos de obra* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín]. [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSA\\_da7fc4775ed2b82a893d0fa4444f7bd7](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSA_da7fc4775ed2b82a893d0fa4444f7bd7)
- [9] Organisation for Economic Co-operation and Development. (2019). *Government at a glance 2019*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/8ccf5c38-en>
- [10] Organisation for Economic Co-operation and Development. (2021). *Building resilience: Strengthening infrastructure systems*. OECD Publishing. [https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2021/11/building-resilience\\_6b655137/354aa2aa-en.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2021/11/building-resilience_6b655137/354aa2aa-en.pdf)
- [11] Poulin, C. (2021). Infrastructure resilience curves: Performance measures for resilience quantification. *International Journal of Project Management*, 39(7), 745–758. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2021.05.003>
- [12] Sara-Lafosse, C. G. (2013). Conceptos de la gestión de infraestructura. *Revista de Derecho Administrativo*, 13, 45–62. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechoadministrativo/article/view/13502>
- [13] United Nations. (2016). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- [14] United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2019). *Global assessment report on disaster risk reduction 2019*. <https://www.undrr.org/publication/global-assessment-report-disaster-risk-reduction-2019>
- [15] World Bank. (2017). *Procurement regulations for IPF borrowers*. The World Bank. <https://www.worldbank.org/en/projects-operations/products-and-services/brief/procurement-new-framework>
- [16] World Bank. (2020). *Infrastructure resilience: A public investment perspective*. The World Bank. <https://www.worldbank.org/en/topic/infrastructure/publication/infrastructure-resilience>
- [17] Yescombe, E. R. (2018). *Public-private partnerships for infrastructure: Principles of policy and finance* (2nd ed.). Elsevier.
- [18] Zou, P. X. W., Zhang, G., & Wang, J. (2007). Understanding the key risks in construction projects. *International Journal of Project*