

Factores de la Logística Humanitaria y sus efectos en el Costo Social, en el contexto de un desastre de ocurrencia lenta.

Humanitarian Logistics Factors and Their Effects on Social Cost in the Context of a Slow-Onset Disaster.

Doctorando:

David Gómez Schwartz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0868-3788>

Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de La Serena, La Serena, Chile.

Email: dgomez@userena.cl

Director:

Dr. Mauricio Castillo Vergara

Resumen

La sequía prolongada de la Región de Coquimbo ha transformado la distribución rural de agua mediante camiones aljibe en una operación humanitaria persistente. Este trabajo presenta el avance orientado a explicar cómo la confiabilidad operativa, la equidad distributiva, la vulnerabilidad y la resiliencia se relacionan con la inseguridad de acceso al agua, los costos de privación hídrica y la afectación del hogar. Se estimó un modelo PLS-SEM con 79% de encuestas válidas. El modelo de medida mostró consistencia interna y validez convergente satisfactorias. Los resultados preliminares indican que la confiabilidad y la equidad reducen la inseguridad, mientras que la vulnerabilidad la incrementa. La inseguridad se proyecta principalmente en costos temporales, de sacrificio, psicosociales y monetarios. La resiliencia disminuye directamente la inseguridad y la afectación, y amortigua de manera específica la conversión de inseguridad en costo psicosocial. El modelo explica 61,5 % de la varianza de la afectación. No obstante, las pruebas de ajuste exacto y la comparación predictiva con un modelo lineal aconsejan mantener una interpretación provisional y refinar la especificación con la muestra completa.

Palabras clave: logística humanitaria; inseguridad hídrica; costos de privación; resiliencia del hogar; PLS-SEM.

Abstract

The prolonged drought in the Coquimbo Region has transformed rural water distribution via water tanker trucks into an ongoing humanitarian operation. This paper presents research progress aimed at explaining how operational reliability, distributive equity, vulnerability, and resilience relate to water access insecurity, water deprivation costs, and household impact. A PLS-SEM model was estimated with a 79% valid survey response rate. The measurement model demonstrated satisfactory internal consistency and convergent validity. Preliminary results indicate that reliability and equity reduce insecurity, whereas vulnerability increases it. Insecurity manifests primarily in temporal, sacrifice, psychosocial, and monetary costs. Resilience directly reduces both insecurity and household impact, while specifically buffering the conversion of insecurity into psychosocial costs. The model explains 61.5% of the variance in household impact. However, exact fit tests and predictive comparison with a linear model suggest maintaining a provisional interpretation and refining the model specification with the full sample.

Keywords: humanitarian logistics; household water insecurity; deprivation costs; household resilience; PLS-SEM.

Introducción

Los desastres de ocurrencia lenta plantean un problema analítico distinto del que caracteriza a los eventos súbitos. La degradación se acumula, la excepcionalidad tiende a normalizarse y la respuesta logística puede transformarse en un servicio permanente. En la Región de Coquimbo, Chile, más de una década de sequía ha obligado a sostener el abastecimiento rural de agua potable mediante camiones aljibe. Esta operación resulta indispensable para la subsistencia, pero su desempeño no puede evaluarse solo por kilómetros recorridos, volumen entregado o costo de transporte. Cuando la entrega es imprevisible, insuficiente o percibida como inequitativa, las consecuencias se desplazan hacia los hogares en forma de espera, gastos extraordinarios, reorganización doméstica, preocupación y pérdida de bienestar.

La logística humanitaria ha destacado que las decisiones de abastecimiento deben conciliar rapidez, eficiencia, eficacia y equidad en contextos marcados por incertidumbre y necesidades críticas (Van Wassenhove, 2006; Holguín-Veras et al., 2012). Sin embargo, buena parte de la modelación continúa privilegiando el costo privado u operacional. La noción de costo de privación amplía esa perspectiva al representar la pérdida de bienestar asociada con la falta de acceso oportuno a bienes esenciales (Pérez-Rodríguez y Holguín-Veras, 2016; Cotes y Cantillo, 2019). En un sistema de abastecimiento hídrico prolongado, dicha privación no se agota durante el tiempo que se permanece sin agua. Incluye las cargas monetarias, temporales, operativas, psicosociales y de sacrificio que los hogares asumen para mantener su funcionamiento cotidiano.

Este desplazamiento desde la operación hacia la experiencia del hogar exige integrar tres teorías que con frecuencia avanzan por separado. La primera es la logística humanitaria, que permite estudiar la confiabilidad del sistema de distribución. La segunda es la justicia hídrica, que sitúa la equidad distributiva en la asignación de cantidades, frecuencias y prioridades (Sultana, 2018). La tercera es la medición experiencial de la inseguridad hídrica, para la cual la escala HWISE mostró que la insuficiencia, la incertidumbre y la interferencia cotidiana constituyen manifestaciones observables y comparables del acceso inseguro (Young et al., 2019). Su articulación permite comprender que una misma cantidad entregada puede producir consecuencias distintas según su previsibilidad, la vulnerabilidad económica y la capacidad adaptativa del hogar.

El caso se apoya, además, en una trayectoria previa de diagnóstico territorial y optimización de la distribución en las 15 comunas de la región de Coquimbo, Chile. El análisis georreferenciado de los hogares abastecidos permitió reducir costos y evidenció que la optimización de rutas, por sí sola, no resuelve un problema estructural de acceso; fue necesario combinarla con alternativas de infraestructura y coordinación territorial (Gomez-Schwartz et al., 2025). El avance doctoral retoma ese aprendizaje y cambia la unidad de observación: desde la red logística hacia el hogar receptor. Con ello busca explicar los mecanismos mediante los cuales el desempeño operativo se convierte, o evita convertirse, en afectación social.

El objetivo de este trabajo es evaluar preliminarmente un modelo PLS-SEM que relaciona confiabilidad operativa del sistema de abastecimiento (COSA), equidad distributiva (EQD), vulnerabilidad socioeconómica (VSH), resiliencia del hogar (RH), inseguridad de acceso al agua (IAA), cinco dimensiones del costo de privación hídrica y afectación socioeconómica y psicosocial (ASP). El aporte esperado es proponer una operacionalización contextual del costo de privación para abastecimiento por camiones aljibe y ofrecer evidencia sobre los mecanismos que conectan la logística con el bienestar doméstico en un desastre prolongado. Dado que se dispone del 79% de los casos planificados, los resultados se presentan como evidencia de avance y no como validación definitiva.

Desarrollo

Modelo conceptual e instrumento

El modelo estructural propone que la confiabilidad operativa (frecuencia, puntualidad, previsibilidad, suficiencia y calidad de la entrega) fortalece la equidad distributiva percibida (comparación de cantidades, frecuencia entre sectores y consistencia de los criterios de priorización) y reduce la inseguridad de acceso. Esta decisión conserva la parsimonia teórica y evita mezclar, antes de completar la validación, componentes procedimentales. A modo de hipótesis, asimismo, se declara que la vulnerabilidad incrementa la inseguridad y que la resiliencia la reduzca mediante capacidades de reorganización, alternativas y redes de apoyo.

La IAA se operacionalizó mediante cinco ítems referidos a incertidumbre, racionamiento preventivo, inestabilidad, insuficiencia e interferencia con el funcionamiento del hogar. Su lógica es consistente con la tradición HWISE/WISE, aunque la redacción se adaptó al ciclo de entrega por camión. Los costos de privación se desagregaron en cinco constructos reflectivos de tres indicadores: costo monetario (CMON), temporal (CTIM), operativo (COPE), psicosocial (CPSI) y de sacrificio doméstico (CSAC). Finalmente, ASP recoge deterioro de la estabilidad, calidad de vida, funcionamiento cotidiano, seguridad futura y tranquilidad.

El cuestionario contiene 43 indicadores para once constructos. Los ítems se midieron con escalas ordinales y se organizaron para distinguir condiciones antecedentes, experiencias de acceso, cargas de adaptación y afectación. La resiliencia se modeló como antecedente directo de IAA y ASP y como moderadora de las relaciones entre IAA y cada dimensión de costo. La moderación representa una proposición sustantiva; los hogares con mayores capacidades adaptativas no necesariamente evitan la perturbación, pero podrían limitar la intensidad con que esta se transforma en costos.

Muestra y estrategia de análisis

La base analizada comprende 79,0 % de las encuestas, permaneciendo 43 encuestas por completar. La estimación se realizó en SmartPLS 4. La evaluación del modelo reflectivo consideró cargas externas, alfa de Cronbach, fiabilidad compuesta (ρ_c), varianza media extraída (AVE) y razón heterotrait-monotrait (HTMT). El modelo estructural se examinó mediante coeficientes de trayectoria, intervalos bootstrap, R^2 y tamaños de efecto f^2 , siguiendo recomendaciones de reporte para PLS-SEM (Hair et al., 2022). La capacidad predictiva se evaluó con PLSpredict mediante diez pliegues y diez repeticiones, y se complementó con CVPAT (Shmueli et al., 2019).

La interpretación sigue cuatro reglas. Primero, la significancia estadística se considera junto con magnitud, dirección y coherencia teórica. Segundo, una trayectoria no significativa no se elimina automáticamente, porque la reespecificación guiada solo por datos puede debilitar la validez conceptual. Tercero, los resultados predictivos se comparan tanto con un promedio ingenuo como con un modelo lineal. Cuarto, las medidas de ajuste exacto se informan como diagnóstico complementario; aunque PLS-SEM es una técnica orientada a explicación y predicción, discrepancias superiores a los percentiles bootstrap pueden revelar omisiones o excesiva complejidad. Estas reglas son especialmente relevantes porque la muestra aún no está cerrada.

Criterio de avance

A la fecha se completaron el marco teórico, la justificación y operacionalización de los constructos, el diseño de la red nomológica, la programación del modelo y una primera evaluación de medición, estructura y predicción. Por ello, la muestra de 79% de casos se utiliza para identificar patrones robustos, alertas de medición y relaciones que requieren contraste final, sin sustituir el análisis definitivo con el total de hogares.

Resultados

Modelo de medida

Las cargas externas se situaron entre 0,735 y 0,936, salvo VSH1 (0,619), que permaneció por su relevancia de contenido y porque su eliminación prematura reduciría la cobertura para financiar abastecimiento alternativo. Todos los indicadores fueron significativos. Los valores de alfa de Cronbach se ubicaron entre 0,843 y 0,925; la fiabilidad compuesta, entre 0,875 y 0,947; y el AVE, entre 0,587 y 0,856. Por tanto, los constructos alcanzaron consistencia interna y validez convergente en la estimación puntual. La **Tabla 1** resume estos resultados y la varianza explicada de los constructos endógenos.

Constructo	Ítems	pc	AVE	R ²
COSA	5	0,896	0,634	—
EQD	3	0,947	0,855	0,500
VSH	5	0,875	0,587	—
IAA	5	0,925	0,711	0,583
RH	5	0,887	0,610	—
CMON	3	0,925	0,805	0,314
CTIM	3	0,947	0,856	0,593
COPE	3	0,936	0,831	0,314
CPSI	3	0,939	0,837	0,573
CSAC	3	0,924	0,803	0,429
ASP	5	0,943	0,769	0,615

Tabla 1. Calidad de medición y varianza explicada del modelo preliminar

Nota. pc = fiabilidad compuesta; AVE = varianza media extraída. COSA: confiabilidad operativa; EQD: equidad distributiva; VSH: vulnerabilidad; IAA: inseguridad de acceso; RH: resiliencia; CMON, CTIM, COPE, CPSI y CSAC: costos monetario, temporal, operativo, psicosocial y de sacrificio; ASP: afectación del hogar.

La validez discriminante también resultó aceptable; el mayor HTMT fue 0,823 para IAA–CTIM y su intervalo bootstrap no superó 0,90. Los VIF internos alcanzaron un máximo de 2,239 y los externos, de 3,554, sin señales críticas de colinealidad. La principal alerta se concentra en VSH: aunque su AVE puntual fue 0,587, el límite inferior bootstrap descendió a 0,461. En consecuencia, VSH1 y la estabilidad del constructo deberán someterse a análisis de sensibilidad con la muestra final.

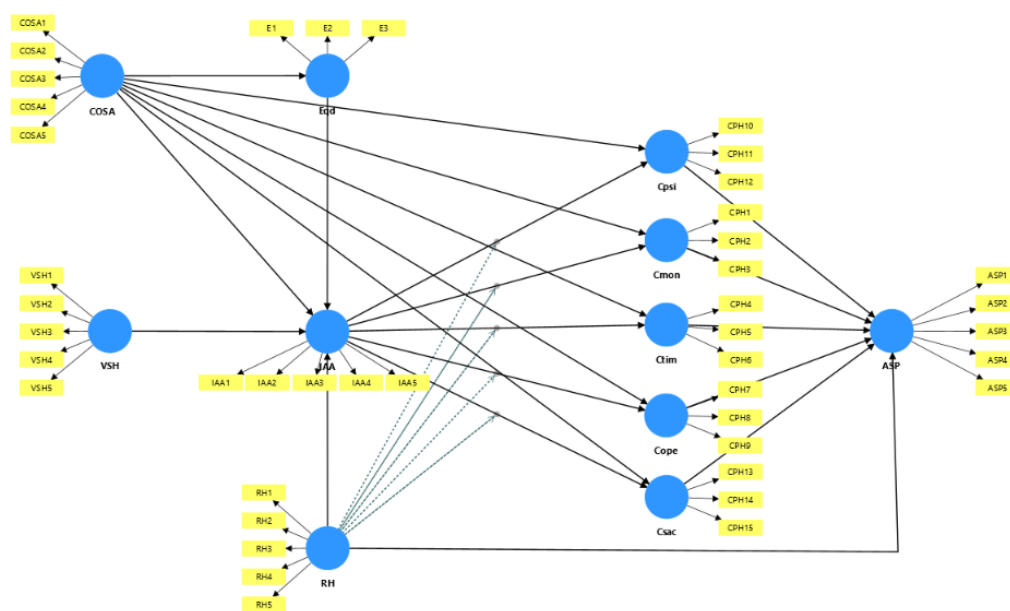


Figura 1. Modelo PLS-SEM propuesto

Modelo estructural

El modelo explica 58,3 % de la varianza de IAA y 61,5 % de ASP, la **Tabla 2** resume los valores de R^2 . La confiabilidad operativa mostró un efecto positivo fuerte sobre EQD ($\beta = 0,707$) y efectos negativos sobre IAA ($\beta = -0,318$) y sobre las cinco dimensiones de costo. La equidad redujo adicionalmente la inseguridad ($\beta = -0,288$), mientras que la vulnerabilidad la incrementó ($\beta = 0,239$). La resiliencia presentó efectos directos negativos sobre IAA ($\beta = -0,255$) y ASP ($\beta = -0,343$). Este patrón respalda la idea de que el desempeño logístico y las capacidades domésticas actúan en niveles distintos pero complementarios.

Constructo endógeno	R^2
ASP	0,615
CTIM	0,593
IAA	0,583
CPSI	0,573
EQD	0,500
CSAC	0,429
CMON	0,314
COPE	0,314

Tabla 2. Capacidad explicativa del modelo estructural

IAA se proyectó con mayor intensidad sobre CTIM ($\beta = 0,589$), CSAC ($\beta = 0,501$), CPSI ($\beta = 0,393$) y CMON ($\beta = 0,333$), pero no sobre COPE. A su vez, CPSI fue la dimensión con mayor incidencia directa sobre ASP ($\beta = 0,368$); CMON ($\beta = 0,161$; $p = 0,003$) y COPE ($\beta = 0,138$; $p = 0,027$) también contribuyeron, mientras CTIM y CSAC no lo hicieron. Este resultado preliminar sugiere una secuencia importante; la privación temporal y el sacrificio son cargas importantes, pero su traducción en afectación general no es automática; la vía psicosocial concentra el mecanismo de deterioro más consistente.

La moderación de RH fue moderada, solo el efecto IAA→CPSI disminuyó cuando aumentó la resiliencia ($\beta = -0,278$); las demás interacciones no alcanzaron significancia, aunque IAA→CTIM mostró una tendencia ($p = 0,069$). Por ello, la resiliencia no debe interpretarse como un amortiguador global del modelo. Su función observable parecería ser más específica, proteger la tranquilidad y reducir la tensión asociada con la incertidumbre, sin eliminar necesariamente el gasto o el tiempo de gestión.

Efectos indirectos, ajuste y predicción

Los efectos indirectos reforzaron la lógica mediadora. COSA redujo IAA a través de EQD ($\beta = -0,204$; $p < 0,001$), e IAA incrementó ASP mediante CPSI ($\beta = 0,144$; $p < 0,001$) y CMON ($\beta = 0,054$; $p = 0,021$). El efecto indirecto total de IAA sobre ASP fue 0,243; el de COSA, $-0,350$; y el de RH, $-0,108$. En términos de efecto, destacaron COSA→EQD ($f^2 = 0,999$), IAA→CTIM ($f^2 = 0,421$) y RH→ASP ($f^2 = 0,244$).

Todas las Q^2 predict fueron positivas; 0,157–0,483 a nivel de indicador y 0,242–0,522 a nivel de constructo. Sin embargo, PLS obtuvo menor RMSE que el modelo lineal solo en 4 de 28 indicadores y la pérdida global fue superior ($p = 0,000682$). Esta combinación justifica conservar el núcleo teórico y simplificar relaciones débiles en la evaluación final.

Conclusiones

Con 79% de hogares, el modelo muestra mediciones mayoritariamente confiables, explica proporciones sustantivas de IAA y ASP y revela mecanismos coherentes con la teoría; una operación confiable mejora la equidad percibida y reduce la inseguridad; la vulnerabilidad expone al hogar; la inseguridad se convierte en cargas diferenciadas; y la resiliencia disminuye la afectación y amortigua especialmente su componente psicosocial.

La principal contribución es vincular el desempeño logístico con costos que suelen permanecer fuera de los indicadores operacionales. En un desastre prolongado, entregar agua no equivale por sí mismo a garantizar acceso seguro. La puntualidad, la previsibilidad y la justicia distributiva inciden en cuánto tiempo, dinero, esfuerzo y tranquilidad debe aportar cada hogar para completar el servicio. Esta lectura amplía la noción de costo social y ofrece criterios aplicables a la gestión pública; monitorear regularidad y equidad, focalizar apoyos en hogares vulnerables y fortalecer capacidades de adaptación sin trasladarles la responsabilidad estructural del abastecimiento.

Los resultados no constituyen una validación final. La recolección del 21% de casos pendientes permitirá reevaluar la estabilidad de VSH, contrastar la moderación y examinar una especificación más parsimoniosa. También se evaluará si los cinco costos pueden integrarse como un constructo jerárquico reflectivo-formativo.

Referencias

- Cotes, N., y Cantillo, V. (2019). Including deprivation costs in facility location models for humanitarian relief logistics. *Socio-Economic Planning Sciences*, 65, 89–100. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2018.03.002>
- Gomez-Schwartz, D., Castillo-Vergara, M., Contreras González, O., y Espíndola Arellano, C. (2025). An integrated model approach for disaster impact reduction: Lessons from a slow onset disaster in Chile. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 15(1), 18–33. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-12-2023-0126>
- Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., y Sarstedt, M. (2022). A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) (3.ª ed.). Sage.
- Holguín-Veras, J., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N., Pérez, N., y Wachtendorf, T. (2012). On the unique features of post-disaster humanitarian logistics. *Journal of Operations Management*, 30(7–8), 494–506. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2012.08.003>
- Pérez-Rodríguez, N., y Holguín-Veras, J. (2016). Inventory-allocation distribution models for postdisaster humanitarian logistics with explicit consideration of deprivation costs. *Transportation Science*, 50(4), 1261–1285. <https://doi.org/10.1287/trsc.2014.0565>
- Shmueli, G., Sarstedt, M., Hair, J. F., Cheah, J.-H., Ting, H., Vaithilingam, S., y Ringle, C. M. (2019). Predictive model assessment in PLS-SEM: Guidelines for using PLSpredict. *European Journal of Marketing*, 53(11), 2322–2347. <https://doi.org/10.1108/EJM-02-2019-0189>
- Sultana, F. (2018). Water justice: Why it matters and how to achieve it. *Water International*, 43(4), 483–493. <https://doi.org/10.1080/02508060.2018.1458272>
- Van Wassenhove, L. N. (2006). Humanitarian aid logistics: Supply chain management in high gear. *Journal of the Operational Research Society*, 57(5), 475–489. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602125>
- Young, S. L., Boateng, G. O., Jamaluddine, Z., Miller, J. D., Frongillo, E. A., Neilands, T. B., Collins, S. M., Wutich, A., Jepson, W. E., y Stoler, J. (2019). The Household Water InSecurity Experiences (HWISE) Scale: Development and validation of a household water insecurity measure for low-income and middle-income countries. *BMJ Global Health*, 4(5), e001750. <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2019-001750>