



INSTITUTO ARGENTINO DE PROFESORES UNIVERSITARIOS DE COSTOS

XLIX CONGRESO ARGENTINO DE PROFESORES UNIVERSITARIOS DE COSTOS

DE LA MAQUINA DE VAPOR A LA IA: LA CONTABILIDAD DE COSTOS FRENTE A JEVONS

Categoría propuesta: Aportes a la disciplina

Autora

Natalia Elizabeth Giménez (Socia adherente)

Buenos Aires, julio 2026

Índice

1. Introducción: la paradoja que desafía a lo esperado
2. Del cociente físico al indicador de gestión: los planos de la productividad
3. La rima histórica: del «duty» de la máquina de vapor al PUE del centro de datos
4. La Cuarta Revolución Industrial y la industrialización de la paradoja
5. Estructura contable del engaño: ratio intensivo frente a magnitud extensiva
6. El instrumento que aporta profundidad: el CVU con volumen endógeno
 - 6.1. Del CVU clásico al CVU con volumen endógeno
 - 6.2. Derivación del umbral jevonsiano ($\varepsilon^* = -1/\alpha$)
 - 6.3. Lectura gerencial: las zonas de rebote
 - 6.4. La sensibilidad del umbral a la intensidad energética
 - 6.5. El umbral como análogo del punto de equilibrio
 - 6.6. Validación empírica: el sector de centros de datos como laboratorio
7. Implicancias para la gestión empresarial y la política pública
8. Conclusiones
- Bibliografía

Resumen

Título del trabajo: De la maquina de vapor a la IA: la contabilidad de costos frente a Jevons.

Categoría propuesta: Aportes a la disciplina.

La Paradoja de Jevons describe un hecho contraintuitivo: cuando una tecnología se vuelve más eficiente en el uso de un recurso, su consumo total no baja, sino que aumenta. El objetivo de este trabajo es explicar por qué ocurre y mostrar que la contabilidad de costos ofrece las herramientas para anticiparlo y gestionarlo. El trabajo central es que la paradoja no es un problema energético, sino un error de medición: surge cuando se gestiona un sistema mirando un indicador de productividad parcial — un cociente que mejora por unidad mientras el consumo total se dispara—. El trabajo muestra esta distorsión con dos casos separados por siglo y medio: el rendimiento de la máquina de vapor (1865) y el PUE de los centros de datos que hoy sostienen la inteligencia artificial. Como aporte original, incorpora el volumen como variable dependiente del costo dentro del modelo costo-volumen-utilidad y define el umbral jevonsiano ($\varepsilon^* = -1/\alpha$): el punto a partir del cual invertir en productividad genera más consumo en lugar de ahorro. Sobre esa base, se desarrolla en profundidad el instrumento asociado a la productividad en el consumo energético, con aplicaciones concretas en gestión empresarial y política pública.

Palabras clave: paradoja de Jevons; productividad parcial; contabilidad de costos; modelo costo-volumen-utilidad (CVU); efecto rebote.

1. Introducción: la paradoja que desafía a lo esperado

Existe en economía una observación tan simple de enunciar como difícil de aceptar: mejorar la productividad con que se usa un recurso puede aumentar, y no reducir, la cantidad total que de él se consume. La formuló William Stanley Jevons en 1865, observando el carbón británico, y desde entonces se la conoce como la Paradoja de Jevons. La intuición dice lo contrario —si cada máquina gasta menos carbón por unidad de trabajo, el país debería gastar menos carbón—; la historia dijo que no. A medida que las máquinas de vapor se volvían más eficientes, el carbón se abarataba en términos de trabajo útil, el vapor invadía usos y sectores donde antes no era rentable, y el consumo agregado de carbón, lejos de bajar, se disparó.

La paradoja en una imagen cotidiana

Piense en una autopista congestionada a la que se le agrega un carril. La obra promete descomprimir el tránsito; al poco tiempo, la autopista vuelve a estar llena, porque el viaje más rápido invitó a más gente a usar el auto. Con la energía ocurre lo mismo: abaratar el uso de un recurso invita a usarlo más. La productividad es el carril nuevo; el consumo total, el tráfico.

Otro ejemplo: las lámparas LED consumen una fracción de lo que consumían las incandescentes y, sin embargo, el mundo no gasta menos en iluminación: ilumina más —fachadas, carteles, pantallas, espacios antes a oscuras—. Cada unidad gasta menos; el total gasta más. Eso, exactamente, es lo que planteo en este trabajo.

Ciento sesenta años después, la escena se repite con un protagonista nuevo. La inteligencia artificial se presenta bajo un relato de desmaterialización y productividad: hacer más con menos, computar más barato, optimizar cada consulta. Y, sin embargo, el consumo eléctrico de la infraestructura que la sostiene —los centros de datos— no se contrae: se duplica. La promesa de productividad y el crecimiento del consumo total conviven sin contradicción aparente, y esa convivencia desconcierta a quien mira un solo número.

La Paradoja de Jevons no es, en su raíz, un fenómeno energético: es una distorsión de medición. Es lo que sucede cuando se gestiona un sistema complejo mirando un indicador de productividad parcial —un cociente que mejora por unidad mientras la magnitud total que ese cociente debería vigilar se dispara en sentido contrario—. Si esto es así, la contabilidad de costos no es «una herramienta más» para analizar el problema: es la disciplina históricamente constituida para detectar y corregir exactamente esta clase de error. Su distinción entre costo unitario y costo total, entre productividad parcial y resultado económico global, y entre costo privado y costo social, le confiere los instrumentos conceptuales de los que la métrica de ingeniería carece por construcción.

Antecedentes y espacio de la contribución. El efecto rebote fue reintroducido en la economía de la energía por Khazzoom (1980) y Brookes (1990) —de cuya conjunción deriva el «postulado Khazzoom–Brookes», formalizado en el marco del crecimiento neoclásico por Saunders (1992)—; fue taxonomizado por Greening, Greene y Difiglio (2000), que distinguieron efectos directos, indirectos y de equilibrio general; y fue revisado empíricamente por Sorrell (2009), cuya conclusión central es que el rebote se subestima de manera sistemática y que el backfire —el caso extremo en que la productividad termina aumentando el consumo— resulta plausible precisamente en las tecnologías de propósito general. Alcott (2005) y Polimeni, Mayumi, Giampietro y Alcott (2008) devolvieron al debate su alcance jevonsiano original, contra las lecturas

que lo reducían a un efecto marginal. Más recientemente, la literatura específica sobre inteligencia artificial ha comenzado a invocar el fenómeno de manera explícita (Luccioni, Strubell y Crawford, 2025; Wang, 2025).

Lo que esa literatura no ofrece —y allí reside el espacio de esta contribución— es una aplicación al lenguaje de la contabilidad de gestión. La paradoja se ha estudiado como fenómeno macroeconómico, energético o ambiental, pero no como una distorsión de medición corregible con las herramientas del costeo. Este trabajo asume esa tarea pendiente: leer la Paradoja de Jevons con los ojos de la contabilidad de costos, para llevarla del terreno del diagnóstico al de la decisión.

El recorrido es el siguiente. Las secciones 2 a 5 introducen el problema de manera progresiva y distinguen los planos de la productividad, muestran la continuidad histórica entre el indicador del vapor y el de la IA, explican por qué la economía del bien digital hace del rebote una fisiología y no un accidente, y describen la estructura contable del engaño. Sobre ese terreno, la sección 6 desarrolla en profundidad —con su formalización, sus gráficos y su validación empírica— un instrumento correctivo específico: el modelo costo-volumen-utilidad con volumen endógeno y el umbral jevonsiano que de él se deriva, el instrumento asociado directamente a la productividad en el consumo energético. Las secciones 7 y 8 extraen las implicancias de gestión y política y cierran con las conclusiones.

Método y justificación de la categoría propuesta. El trabajo articula tres procedimientos metodológicos: (i) revisión sistemática de la literatura del efecto rebote y de la teoría general del costo; (ii) modelización analítica, consistente en la extensión formal del modelo costo-volumen-utilidad mediante la endogeneización del volumen y la derivación deductiva del umbral jevonsiano; y (iii) contrastación empírica del modelo con datos sectoriales publicados por organismos internacionales de energía y ambiente. Se propone su inclusión en la categoría «Aportes a la disciplina» por cuanto la comunicación representa un avance en el grado de conocimiento —la aplicación de la Paradoja de Jevons al lenguaje de la contabilidad de gestión y la derivación de un umbral operativo inédito—, resulta de una investigación realizada con método, de la cual surge la propuesta de solución, y constituye una propuesta razonable y factible, susceptible de validación con los datos del propio sector que le da origen.

2. Del cociente físico al indicador de gestión: los planos de la productividad

El término «productividad» encubre, en el uso corriente, una ambigüedad que para la contabilidad de costos resulta decisiva. Conviene distinguir cuatro planos. La productividad expresa una relación física entre el resultado obtenido y el factor consumido —kilovatios-hora por operación, watts por unidad de cómputo—: es una medida descriptiva, que informa una cantidad sin emitir juicio sobre ella. La eficiencia técnica, en cambio, es comparativa: surge de confrontar la productividad real con la productividad teórica o estándar, y mide por tanto la distancia que separa el desempeño observado del máximo alcanzable con la misma tecnología (Farrell, 1957). Sin patrón de referencia no hay eficiencia: hay productividad. La eficiencia económica pondera la relación física por los precios de los factores, y se ocupa del sacrificio monetario por unidad de resultado. Y la eficiencia global, o resultado económico del sistema, atiende al sacrificio total de recursos en relación con el resultado total obtenido. Una métrica de productividad parcial es la que optimiza un único cociente físico —una sola relación insumo-producto, aislada del resto del sistema— y lo erige en indicador de gestión.

Plano	Qué mide	Punto ciego
Productividad	Relación física entre resultado y factor (kWh por operación)	Describe, no evalúa: carece de patrón de comparación
Eficiencia técnica	Productividad real / productividad teórica o estándar	Es un cociente: nada dice del consumo absoluto
Eficiencia económica	Sacrificio monetario por unidad de resultado (físico × precio)	El volumen de actividad queda fuera del cociente
Eficiencia global	Sacrificio total de recursos / resultado total del sistema	Exige delimitar las fronteras del sistema y el horizonte temporal

Tabla 1. Los cuatro planos. La métrica parcial se detiene en los dos primeros; la contabilidad de costos razona desde el cuarto. Fuente: elaboración propia sobre la base de la medición de la productividad productiva de Farrell (1957), la descomposición del costo en componente físico y componente monetario de Cartier (2017) y Osorio (1986), y el concepto de suboptimización de Kaplan y Cooper (1998).

Productividad y eficiencia no son lo mismo

Un dato: este centro de datos consume 1,45 kilovatios-hora por cada kilovatio-hora de cómputo útil. Eso es productividad —una medición, sin juicio de valor—. Un juicio: consume 1,45 cuando el mejor diseño disponible consumiría 1,10. Eso es eficiencia técnica —una comparación contra un patrón—.

La diferencia no es académica. La productividad se informa; la eficiencia se evalúa. Y ninguna de las dos responde la pregunta que importa: cuántos kilovatios-hora consumió el centro de datos en el año. Ese número —el único que compromete realmente el recurso— es una magnitud total, y no aparece en ningún cociente.

La teoría general del costo ofrece aquí su mejor demostración de vigencia. Su descomposición de todo costo en un componente físico —la cantidad de recurso técnicamente necesaria por unidad de resultado— y un componente monetario —el precio de ese recurso (Cartier, 2017; Osorio, 1986)— proporciona la clave explicativa de un fenómeno del que la métrica de ingeniería no puede dar cuenta desde sus propias categorías.

Una métrica de productividad parcial opera sobre el componente físico de un único factor, y lo hace en términos relativos —por unidad de resultado— y no absolutos. Puede por ello mejorar sin límite mientras el consumo agregado de ese mismo factor se dispara: mide una razón, no una cantidad, y una razón no acota ninguno de sus términos.

La gestión por indicadores conoce el fenómeno bajo otro nombre: suboptimización, la mejora de un indicador local en detrimento del resultado global del sistema (Johnson y Kaplan, 1987). La productividad parcial no incurre en ella por error de aplicación sino por construcción, toda vez que el volumen de actividad no resulte independiente del propio indicador. La paradoja de Jevons es la denominación que ese mismo mecanismo recibe en la economía de los recursos. Lo que sigue, entonces, no corrige a la teoría del costo: la extiende, al aplicar su marco a un dominio —la infraestructura del cómputo— donde su capacidad explicativa se vuelve, como se verá, decisiva.

3. La rima histórica: del «duty» de la máquina de vapor al PUE del centro de datos

Hay una ironía que merece quedar registrada, porque no es ornamental: es el corazón del argumento. Cuando Jevons formuló su paradoja en *The Coal Question* (1865), el indicador que la industria británica celebraba como medida de progreso era el «duty» de las máquinas de vapor: el trabajo útil obtenido por unidad de carbón quemado. El duty mejoraba década tras década. Y, sin embargo, el consumo total de carbón se multiplicaba. Jevons no descubrió que las máquinas fueran ineficientes; descubrió que juzgar la economía del carbón por el duty de la máquina era un error de medición: un cociente intensivo que mejoraba mientras la magnitud extensiva explotaba. La Figura 1 reconstruye esa divergencia: a lo largo del siglo XIX el duty de los motores más avanzados se multiplicó, y el consumo británico de carbón, lejos de moderarse, se multiplicó por siete.

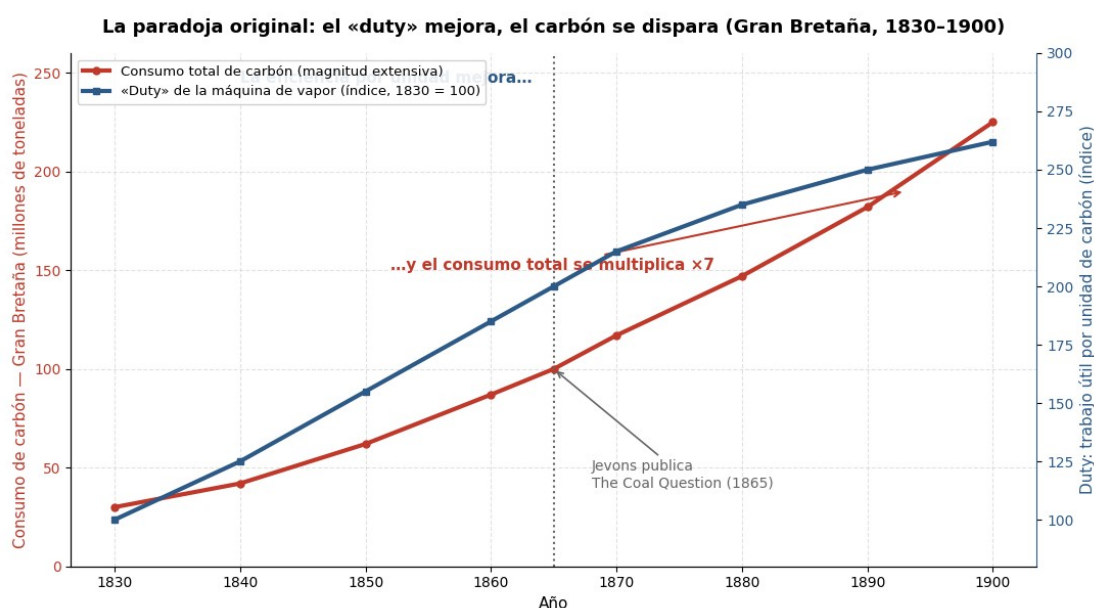


Figura 1. La paradoja original. Elaboración propia; representación estilizada sobre datos históricos (Jevons, 1865; Mitchell, 1988). Mientras el «duty» —el indicador parcial de productividad— mejoraba sostenidamente, el consumo total de carbón de Gran Bretaña se multiplicó por siete entre 1830 y 1900.

Ciento sesenta años después, la infraestructura de IA celebra su propio duty: el PUE (Power Usage Effectiveness), cociente entre la energía total del centro de datos y la energía efectivamente destinada al cómputo. Un PUE que tiende a 1,0 se proclama como «máxima productividad». El PUE es el descendiente lineal del duty jevonsiano: la misma estructura epistémica. Cada revolución industrial inventa un indicador parcial —el duty en la del vapor, el rendimiento del motor de combustión en la segunda, el PUE en la cuarta— y cada una corre el riesgo de gestionarse por él hasta que la magnitud total desmiente al cociente.

Lo notable es que la disciplina que detectó el error en 1865 no fue la ingeniería, sino la mirada económica sobre el costo total del recurso. Los ingenieros de la época perfeccionaban el duty y celebraban cada mejora; Jevons, mirando la cuenta agregada del carbón británico, vio lo que el cociente no podía mostrar: que el país consumía cada vez más de aquello que cada máquina consumía cada vez menos. La lección trasciende el episodio: quien observa la razón por unidad ve el progreso de la parte; quien contabiliza la magnitud total ve el destino del sistema. Por eso la contabilidad de

costos plantea este problema: desde el origen, y llega con la única pregunta capaz de desarmarlo — no cuánto consume cada operación, sino cuánto consume el conjunto.

4. La Cuarta Revolución Industrial y la industrialización de la paradoja

La Cuarta Revolución Industrial se presenta a sí misma bajo un relato de desmaterialización: sistemas ciberfísicos, internet de las cosas, big data, cómputo en la nube e inteligencia artificial que prometen «hacer más con menos» (Schwab, 2016). La Paradoja de Jevons es la crítica estructural de ese relato. Y la tesis que aquí se sostiene es más específica: la Cuarta Revolución Industrial no escapa a Jevons —lo industrializa—, porque su «materia prima» en el sentido contable, la energía que mueve el cómputo, presenta dos rasgos que, combinados, garantizan el rebote.

Costo marginal del cómputo cercano a cero y decreciente. Cada ganancia de productividad algorítmica o de hardware abarata la operación. A diferencia de un bien físico, el cómputo no tiene un piso de costo marginal apreciable: la curva tiende a cero.

Demanda hiperelástica con casos de uso ilimitados. Al abarataarse la operación, no se satura la demanda existente: se crean demandas nuevas —IA multimodal, agentes autónomos, video, robótica, industrias que antes no usaban IA—. La elasticidad-precio de la demanda de cómputo es excepcionalmente alta porque el conjunto de aplicaciones es abierto.

Cuando un recurso con costo marginal colapsante alimenta una demanda con elasticidad casi ilimitada, el efecto volumen domina al efecto productividad por construcción. No es accidente: es la fisiología económica del bien digital. Que la propia industria lo reconozca es elocuente —directivos del sector han invocado explícitamente la Paradoja de Jevons para anticipar que el abaratamiento de la IA aumentaría su consumo agregado—. La paradoja dejó de ser un hallazgo del analista externo para volverse premisa operativa del oferente. La Figura 2 sintetiza el mecanismo completo: la cadena causal que une la mejora unitaria con la expansión del consumo total, y el punto exacto en que la mirada del indicador parcial se corta y la de la contabilidad de costos continúa.

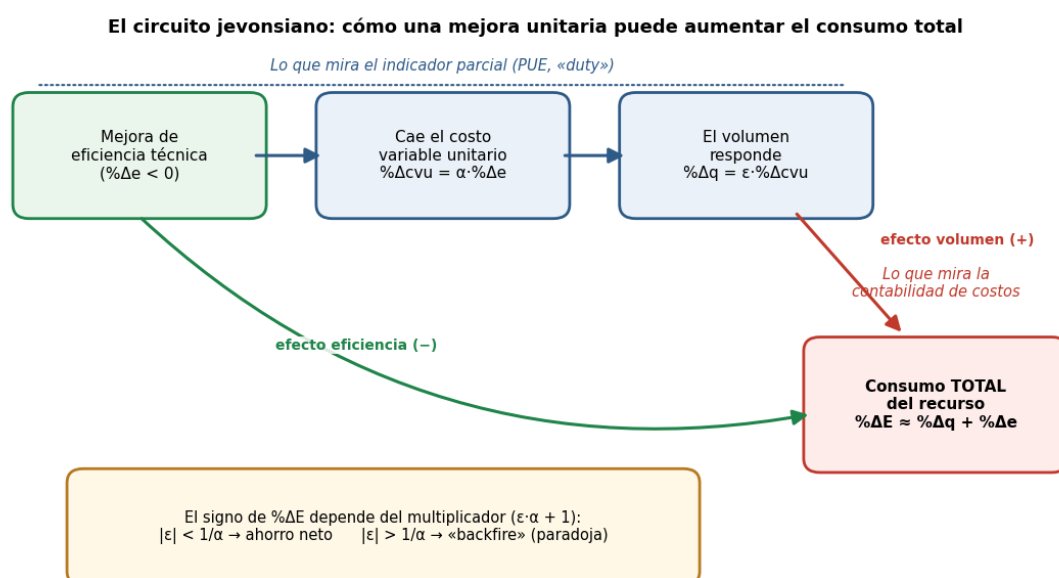


Figura 2. El circuito jevonsiano. Elaboración propia. La mejora de productividad reduce el costo unitario; el costo unitario estimula el volumen; el volumen empuja el consumo total en sentido

contrario a la productividad. El indicador parcial solo ve el primer eslabón; la contabilidad de costos conserva a la vista el último.

Por qué lo digital rebota más fuerte

Dos condiciones, juntas, garantizan el rebote: que cada uso adicional cueste casi nada, y que el producto sirva para casi todo. La inteligencia artificial cumple ambas a la vez. Cada consulta es cada vez más barata, y los usos posibles —escribir, programar, diseñar, diagnosticar, conversar— no tienen techo. Por eso, cada peso que la productividad «ahorra» por operación no se guarda: financia millones de operaciones nuevas.

5. Estructura contable del engaño: ratio intensivo frente a magnitud extensiva

El PUE es un indicador intensivo; el consumo energético es una magnitud extensiva. Entre ambos no existe relación necesaria: pueden divergir, y su divergencia es la firma misma del efecto rebote. La evidencia histórica del propio sector lo demuestra. Entre 2005 y 2017, el PUE mejoró sostenidamente y el consumo eléctrico de los centros de datos permaneció relativamente estable (Masanet, Shehabi, Lei, Smith y Koomey, 2020): el cociente y la magnitud coincidían en su mensaje. A partir de 2017 —y con fuerza desde 2022— el PUE siguió mejorando mientras el consumo total se disparó al alza. El indicador parcial se desacopló de la realidad que pretendía describir. Un sistema gestionado por el PUE habría leído «progreso» exactamente en el momento de la explosión (Figura 3).

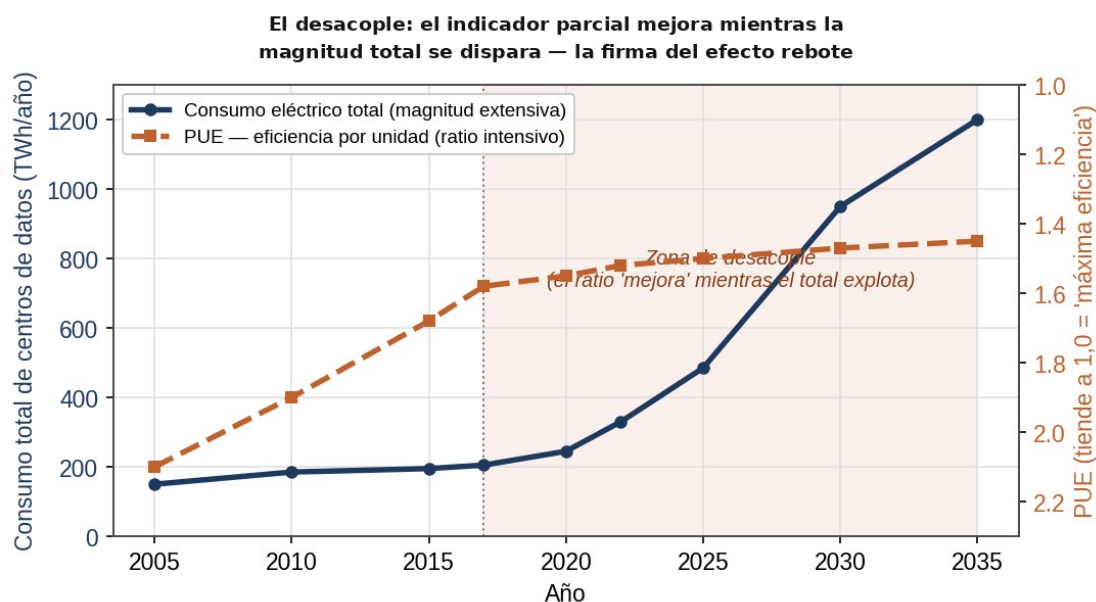


Figura 3. Elaboración propia sobre datos sectoriales (IEA; trayectoria 2005–2035). El eje derecho está invertido: hacia arriba, el PUE «mejora».

A esta fragilidad se suma el efecto denominador, bien conocido por la contabilidad de gestión en el análisis de ratios. El PUE puede mejorar por la simple expansión de su denominador —la carga de cómputo, la energía «útil»—, de modo que escalar la operación mejora el indicador aun cuando el consumo absoluto se multiplique. Es un cociente que premia el crecimiento que dice vigilar. Optimizarlo no solo no contradice la paradoja: la alimenta.

Si la paradoja es una distorsión de medición, la pregunta operativa es directa: ¿qué disciplina dispone del análisis para medir lo que el PUE oculta? La respuesta es la contabilidad de costos, no por afinidad temática sino por construcción epistemológica. El marco general reconoce al menos cinco instrumentos correctivos —el costeo variable y el análisis marginal (Yardín, 2009); el CVU con volumen endógeno; el costeo basado en actividades con inductores ambientales (Kaplan y Cooper, 1998); la categoría de costos ocultos (Savall y Zardet, 1987); y la gestión estratégica de costos sobre la cadena de valor extendida (Shank y Govindarajan, 1993)—. Cada uno restituye una dimensión que el indicador parcial suprime. Por razones de alcance y profundidad, este trabajo desarrolla uno solo de ellos, precisamente el que aprehende de manera más directa la productividad en el consumo energético y del que se deriva la contribución original de la investigación: el CVU con volumen endógeno y el umbral jevonsiano.

6. El instrumento que aporta profundidad: el CVU con volumen endógeno

6.1. Del CVU clásico al CVU con volumen endógeno

El modelo costo-volumen-utilidad es una de las construcciones más importantes de la contabilidad de gestión, pero arrastra un supuesto que aquí se vuelve limitante: trata al volumen como variable exógena, un dato que el analista fija para leer sobre él la contribución marginal, el punto de equilibrio y el resultado. La Paradoja de Jevons, aplicada a la lengua del costeo variable, propone una ampliación al modelo: que la reducción del costo variable unitario no implica la reducción del costo variable total, porque el volumen no es independiente del costo unitario. Cuando se abarata cada operación, el volumen responde, y responde con signo positivo. El costeo variable es el único modelo que mantiene ambas magnitudes simultáneamente a la vista —el cvu y el $CVt = cvu \times q$ —; el PUE solo «ve» la primera y carece de toda categoría para la segunda.

La contribución analítica de este trabajo consiste en endogeneizar el volumen: hacer de q una función del costo unitario y derivar el punto en que la mejora invierte su signo sobre el consumo total del recurso. No se abandona el CVU; se lo amplía, incorporando la retroalimentación que la economía del bien digital vuelve ineludible.

6.2. Derivación del umbral jevonsiano ($\epsilon^* = -1/\alpha$)

Definamos las variables del modelo ampliado:

q : volumen de cómputo del período (operaciones de inferencia o entrenamiento).

e : consumo energético por operación (kWh/op) —el componente físico del costo energético.

$E = q \cdot e$: consumo energético total del sector (la magnitud extensiva a gobernar).

α : participación de la energía en el costo variable unitario ($\approx 0,40$ en la infraestructura de IA).

$\epsilon = \% \Delta q / \% \Delta cvu$: elasticidad de la demanda de cómputo respecto del costo unitario, con $\epsilon < 0$.

Una mayor productividad reduce el consumo por operación: $\% \Delta e < 0$. Como la energía representa la fracción α del costo unitario, la mejora se traslada al costo variable unitario en esa proporción: $\% \Delta cvu \approx \alpha \cdot \% \Delta e$. La demanda responde según su elasticidad: $\% \Delta q = \varepsilon \cdot \% \Delta cvu = \varepsilon \cdot \alpha \cdot \% \Delta e$. En aproximación de primer orden, el cambio del consumo energético total es la suma del efecto volumen y el efecto productividad:

$$\% \Delta E \approx \% \Delta q + \% \Delta e = \% \Delta e \cdot (\varepsilon \cdot \alpha + 1)$$

Existe backfire —paradoja en sentido estricto, en la que el consumo total aumenta pese a la mejora de productividad— cuando $\% \Delta E > 0$. Dado que $\% \Delta e < 0$, esto exige que el factor entre paréntesis sea negativo, $(\varepsilon \cdot \alpha + 1) < 0$, es decir:

$$|\varepsilon| > 1 / \alpha \implies \varepsilon^* = -1 / \alpha$$

Con la energía representando aproximadamente el 40 % del costo variable ($\alpha = 0,40$), el umbral es $|\varepsilon^*| = 2,5$. Basta con que la elasticidad de la demanda de cómputo al costo unitario supere 2,5 en valor absoluto para que toda mejora de productividad energética se traduzca en mayor consumo total. Para la IA generativa —demanda de uso abierto, costo marginal colapsante— una elasticidad de esa magnitud no es un caso extremo: es el régimen ordinario.

La regla práctica del umbral, en tres pasos

- 1) Pregunte qué porcentaje del costo variable de la operación es energía. En la infraestructura de IA, cerca del 40 % ($\alpha = 0,40$).
- 2) Divida 1 por ese porcentaje: $1 \div 0,40 = 2,5$. Ese es el umbral.
- 3) Interprete: si cuando el costo baja 1 % la demanda crece más de 2,5 %, la productividad ya no ahorra energía: la multiplica. Con números concretos: una mejora de productividad del 10 % abarata el costo un 4 %; si eso hace crecer la demanda más de un 10 %, el consumo total sube en lugar de bajar.

Nota metodológica. La expresión es una aproximación de primer orden que supone traslado pleno de la productividad al costo unitario y abstrae el lado de la oferta —la presión del CapEx hacia la maximización de la utilización de la capacidad instalada—, que opera en el mismo sentido reforzando el rebote. El umbral jevonsiano funciona así como análogo del punto de equilibrio: donde el CVU clásico localiza el volumen que iguala ingresos y costos, el CVU ampliado localiza la elasticidad que invierte el signo del efecto de la productividad sobre el recurso.

6.3. Lectura gerencial: las zonas de rebote

El valor operativo del umbral se aprecia mejor tabulando escenarios. La Tabla 2 toma una mejora de productividad del 10 % ($\% \Delta e = -10\%$) sobre un recurso con $\alpha = 0,40$, y recorre distintos valores de elasticidad. La columna del multiplicador ($\varepsilon \cdot \alpha + 1$) sintetiza el diagnóstico: mientras es positivo, la productividad produce ahorro neto; cuando se anula, se alcanza el umbral; cuando se vuelve negativo, la productividad financia expansión de consumo en lugar de contenerlo.

ε	$\% \Delta c_{vu} = \alpha \cdot \% \Delta e$	$\% \Delta q = \varepsilon \cdot \% \Delta c_{vu}$	$\% \Delta E \approx \% \Delta q + \% \Delta e$	Mult. ($\varepsilon \alpha + 1$)	Diagnóstico
-1,0	-4 %	+4 %	-6 %	0,60	Ahorro
-2,0	-4 %	+8 %	-2 %	0,20	Ahorro
-2,5	-4 %	+10 %	0 %	0,00	Umbral
-3,0	-4 %	+12 %	+2 %	-0,20	Backfire
-5,0	-4 %	+20 %	+10 %	-1,00	Backfire fuerte

Tabla 2. Zonas de rebote para una mejora de productividad del 10 % con $\alpha = 0,40$. Elaboración propia.

Los dos gráficos siguientes traducen la tabla. La Figura 4 muestra el multiplicador de rebote como función de la elasticidad: la recta cruza el cero exactamente en $|\varepsilon^*| = 2,5$, separando la región de ahorro de la región de backfire. La Figura 5 descompone el resultado neto en sus dos fuerzas —el efecto productividad, constante y negativo, y el efecto volumen, creciente con la elasticidad— y hace visible el punto en que la segunda supera a la primera y el signo se invierte.

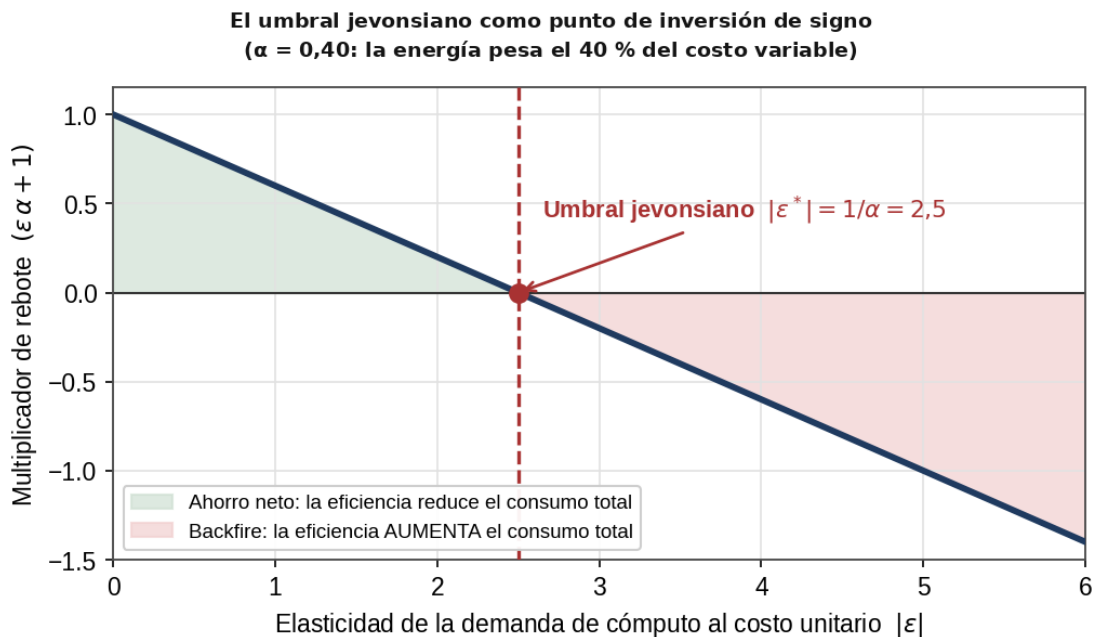


Figura 4. El multiplicador de rebote y el punto de inversión de signo. Elaboración propia.

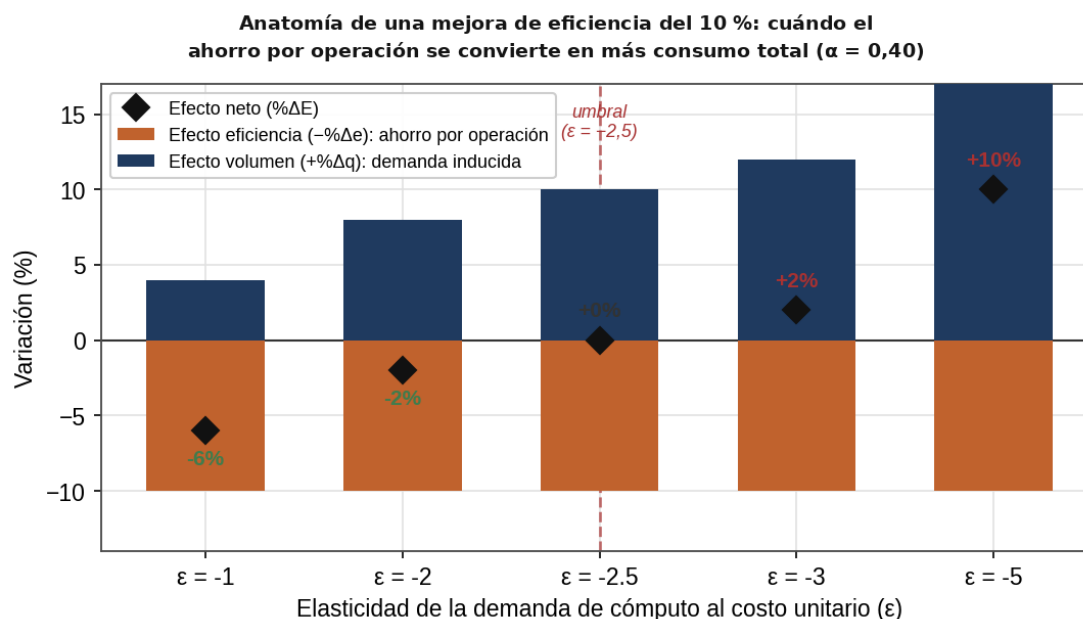


Figura 5. Descomposición del $\% \Delta E$ en efecto productividad y efecto volumen, por escenario de elasticidad. Elaboración propia.

6.4. La sensibilidad del umbral a la intensidad energética

Del umbral $\epsilon^* = -1/\alpha$ se desprende un resultado contraintuitivo y operativamente central: cuanto mayor es el peso de la energía en el costo (α), menor es la elasticidad necesaria para gatillar el rebote. La intensidad energética del sector lo vuelve más, no menos, propenso a la paradoja. La lógica es transparente en el álgebra —el umbral es la inversa de α — pero desafía la intuición gerencial, que tendería a suponer que un recurso costoso disciplina la demanda. Sucede lo opuesto: como una fracción mayor del costo unitario se abarata con la productividad, el estímulo al volumen es proporcionalmente mayor, y se requiere menos elasticidad para que ese estímulo domine.

α (peso de la energía en el cvu)	$\epsilon^* = -1/\alpha$	$ \epsilon^* $	Lectura
0,20	-5,00	5,0	Requiere demanda muy elástica
0,30	-3,33	3,3	—
0,40	-2,50	2,5	Caso de la IA generativa
0,50	-2,00	2,0	—
0,60	-1,67	1,7	Basta demanda moderadamente elástica

Tabla 3. Sensibilidad de la elasticidad umbral a la participación de la energía en el costo variable. Elaboración propia.

El resultado contraintuitivo: a mayor intensidad energética (α), menor la elasticidad necesaria para gatillar el rebote

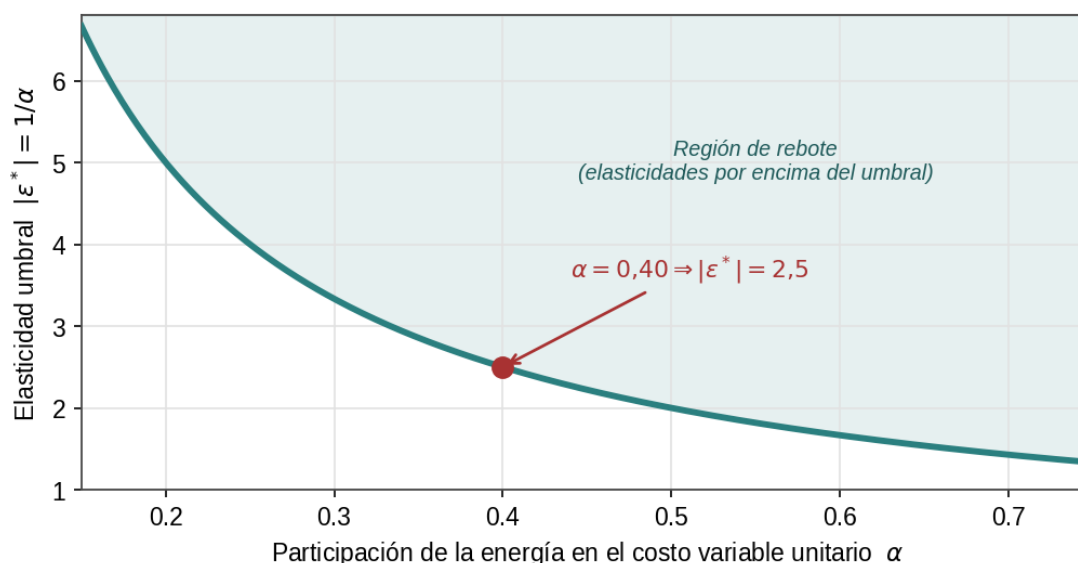


Figura 6. El umbral jevonsiano como función de la intensidad energética. Elaboración propia.

6.5. El umbral como análogo del punto de equilibrio

Es importante subrayar el concepto del hallazgo, porque es lo que lo convierte en un instrumento de gestión y no en una mera curiosidad algebraica. El punto de equilibrio del CVU clásico es el volumen que iguala ingresos totales y costos totales; por debajo hay quebranto, por encima hay ganancia. El umbral jevonsiano es su homólogo en el CVU ampliado: la elasticidad que iguala el efecto productividad y el efecto volumen; por debajo (en valor absoluto) la productividad ahorra recurso, por encima lo multiplica. Ambos son fronteras que separan dos regímenes de signo opuesto, y ambos son —esto es lo decisivo— variables de decisión, no datos. Así como el operador puede actuar sobre su punto de equilibrio modificando la estructura de costos, puede razonar sobre el umbral jevonsiano al decidir dónde y cuánto invertir en productividad, y qué cargas de trabajo priorizar según su costo-beneficio integral.

6.6. Validación empírica: el sector de centros de datos como laboratorio

El modelo no es una abstracción sin correlato. El sector de centros de datos que sostiene la IA ofrece, en tiempo real, la validación empírica de cada uno de sus términos. La energía representa cerca del 40 % del costo variable de la operación de cómputo, lo que fija $\alpha \approx 0,40$ y, con él, un umbral $|\epsilon^*| = 2,5$ que la demanda de uso abierto de la IA supera con holgura. La consecuencia se lee en las magnitudes agregadas del sector, sintetizadas en la Tabla 4.

Variable	2025	Proyección	Fuente
Consumo eléctrico total	485 TWh (≈ 3 % global)	950 TWh (2030); ≈ 1.200 TWh (2035)	IEA
Consumo específico de IA	—	$\times 3$ en el período	IEA
Crecimiento de demanda 2025	+17 % (IA: +50 %)	—	IEA

Variable	2025	Proyección	Fuente
Emisiones de CO ₂ equivalente	189 Mt	≈ 350 Mt (2035)	UNU-INWEH / IEA
Agua asociada a la IA	≈ 1 billón de litros	9,3 billones de litros (2030)	UNU-INWEH

Tabla 4. La magnitud extensiva en cifras. Elaboración propia sobre IEA y UNU-INWEH (2025–2026).

En 2024, un gran operador redujo un 12 % las emisiones por unidad de sus centros de datos —una mejora genuina de productividad del recurso, y de productividad técnica medida contra su propio desempeño previo— mientras su consumo eléctrico absoluto crecía un 27 % interanual. Productividad por unidad que baja, consumo total que sube: la Paradoja de Jevons observada en una sola empresa, en un solo ejercicio. Un tablero de control construido sobre el PUE habría informado «progreso» ese año; el CVU ampliado, en cambio, habría anticipado el signo del consumo total a partir de la elasticidad de la demanda.

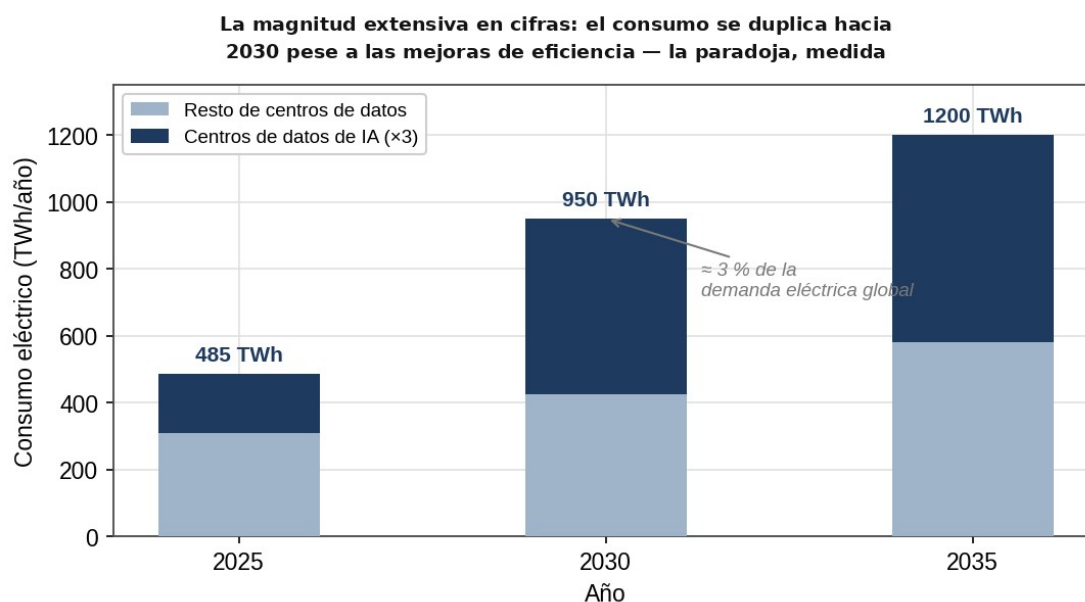


Figura 7. Trayectoria del consumo eléctrico de los centros de datos y componente de IA. Elaboración propia sobre IEA (2025–2026).

El aumento del consumo hacia 2030 ocurre, a pesar de las mejoras de productividad esperadas, no por su ausencia. Es el dato que mejor ilustra por qué gestionar el sistema por su indicador parcial de productividad conduce al error: el PUE mejora y el consumo se duplica, y ambos hechos son, contra toda intuición, perfectamente compatibles.

7. Implicancias para la gestión empresarial y la política pública

Las implicancias son dobles. En la gestión empresarial, el umbral jevonsiano deja de ser una curiosidad teórica para volverse variable de decisión. Permite a una empresa anticipar a partir de qué punto su inversión en productividad financia expansión de demanda en lugar de ahorro de recurso, y priorizar cargas de trabajo según su costo-beneficio integral —energético y ambiental, no solo técnico—. La consecuencia práctica alcanza al diseño mismo del tablero de control. Un tablero construido sobre un

ratio intensivo es un instrumento que puede informar progreso mientras el recurso se expande: mide bien lo que mide, pero no mide lo que importa. El trabajo propuesto se enfoca en mantener a la vista, junto al indicador de productividad por unidad, en la magnitud extensiva del consumo total del recurso — y otorgar a esta última la primacía cuando ambas señales divergen. No se trata de agregar un dato más al panel: se trata de restituir la jerarquía que la contabilidad de costos siempre sostuvo, la del total sobre el cociente.

Para el tablero de control: dos números, no uno

La propuesta mínima que deja este trabajo cabe en una línea: todo indicador de productividad por unidad debe convivir, en el mismo tablero, con la magnitud total del recurso que dice vigilar. kWh por operación y kWh totales del período. Emisiones por unidad y emisiones absolutas. Cuando los dos números cuentan historias opuestas —el primero mejora, el segundo empeora—, no hay contradicción: hay Paradoja de Jevons, y es el segundo número el que manda.

En la política pública, el mismo instrumental fundamenta la internalización de externalidades —precios del carbono, tarifas reguladas, responsabilidad extendida del productor— como traducción regulatoria de un principio contable elemental: imputar al producto el costo total que su obtención sacrifica (Schaltegger y Burritt, 2000).

Los datos sectoriales muestran por qué la cuestión no es menor: la expansión del consumo de los centros de datos (infraestructura de IA) se traduce en costos que no absorbe quien decide la adopción de la tecnología, sino que se socializan sobre el contribuyente local, la red eléctrica regional y las cuencas hídricas. La productividad que multiplica el consumo multiplica también la externalidad, y esta se localiza en comunidades que no necesariamente participan del beneficio.

Dicho en palabras simples: lograr que una tecnología gaste menos recursos por unidad no garantiza que el impacto ambiental total disminuya — y en sectores como este, donde cada abaratamiento dispara la demanda, el impacto total empeora. Menos consumo por operación, pero muchísimas más operaciones: la cuenta final da más electricidad, más agua y más emisiones que antes de la mejora. Y esa cuenta no la paga quien decide adoptar la tecnología ni quien cosecha su beneficio: la pagan la red eléctrica que se tensiona, la cuenca hídrica que se drena y el vecino de la central de datos que ve subir su tarifa. La productividad por unidad concentra los beneficios y la expansión del consumo reparte los costos — y los reparte lejos, sobre quienes no eligieron nada.

Un sistema que solo registra lo facturado es estructuralmente incapaz de ver esa transferencia; reconocer estas externalidades como categoría de gestión —y no como residuo— es el aporte que la disciplina puede hacer a la decisión. La literatura del rebote refuerza la advertencia desde el ángulo regulatorio: si las políticas de productividad se evalúan ignorando el rebote, sus beneficios se sobreestiman de manera sistemática (Sorrell, 2009; Herring y Sorrell, 2009).

8. Conclusiones

Este trabajo partió de una pregunta que la evidencia vuelve ineludible: ¿por qué la infraestructura que sostiene la inteligencia artificial duplica su consumo de energía mientras todos sus indicadores de productividad mejoran? La respuesta que se demostró es que no hay contradicción alguna: hay una distorsión de medición. La

Paradoja de Jevons es lo que ocurre cuando se gestiona un sistema productivo mediante indicadores parciales —el duty de la máquina de vapor en la Primera Revolución Industrial, el PUE del centro de datos en la Cuarta Revolución— que, por medir un cociente por unidad y no una magnitud total, pueden mejorar indefinidamente mientras el consumo del recurso se expande. El indicador no miente: mide bien lo que mide. Pero no mide lo que importa.

Frente a esa distorsión, la contabilidad de costos no es una disciplina auxiliar que llega a comentar un problema: es la disciplina constituida, desde su origen, sobre la diferenciación que lo resuelve — la que separa el costo unitario del costo total, la productividad de una parte del resultado del conjunto. Sobre esa base, el aporte original de este trabajo consistió en extender el modelo costo-volumen-utilidad incorporando el volumen como variable dependiente del costo, y derivar de esa extensión el umbral jevonsiano, $\varepsilon^* = -1/\alpha$: la elasticidad de la demanda a partir de la cual toda mejora de productividad deja de ahorrar recurso y comienza a multiplicarlo. El umbral funciona como un análogo del punto de equilibrio —una frontera entre dos regímenes de signo opuesto, y como aquel, una variable sobre la que se puede decidir—. El modelo revela algo que desafía al sentido común: cuanto más intensivo en energía es un proceso, menos elasticidad basta para disparar el rebote — los sectores que más celebran su productividad son, precisamente, los más expuestos a esta paradoja.

La relevancia para la disciplina es doble. Hacia adentro, muestra que la teoría del costo —lejos de quedar superado por la transformación tecnológica— contiene las categorías exactas para comprender su fenómeno más actual: no hubo que abandonar el modelo costo-volumen-utilidad, sino extenderlo. Hacia afuera, entrega a la gestión y a la política pública una herramienta operativa: un número que anticipa cuándo la inversión en productividad financiará expansión en lugar de ahorro, y una regla de diseño para el tablero de control — junto a cada indicador de productividad por unidad, la magnitud total del recurso que dice vigilar, con primacía de esta última cuando ambas divergen.

Repensar los costos con innovación hacia un futuro sostenible exige, como condición previa, medir aquello que compromete la sostenibilidad: no el consumo por operación, sino el consumo del planeta. La productividad parcial promete que la tecnología, por sí sola, resolverá el problema de los recursos; este trabajo demostró por qué esa promesa, sin gestión del consumo absoluto, se invierte en su contrario. Frente a la Paradoja de Jevons, la contabilidad de costos no tiene un papel auxiliar: tiene el papel correctivo — el de la disciplina que, midiendo totales donde otros miden cocientes, puede convertir la productividad en lo que siempre debió ser: un medio para consumir menos, y no un motivo para consumir más.

Bibliografía

- Agencia Internacional de la Energía (IEA) (2025). *Energy and AI. World Energy Outlook Special Report*. París: International Energy Agency (y actualización 2026).
- Alcott, B. (2005). Jevons' paradox. *Ecological Economics*, 54(1), 9–21.
- Brookes, L. (1990). The greenhouse effect: the fallacies in the energy efficiency solution. *Energy Policy*, 18(2), 199–201.
- Cartier, E. N. (2017). *Apuntes para una teoría del costo*. Buenos Aires: La Ley.
- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, 120(3), 253–290.
- Greening, L. A., Greene, D. L. y Difiglio, C. (2000). Energy efficiency and consumption — the rebound effect — a survey. *Energy Policy*, 28(6–7), 389–401.
- Herring, H. y Sorrell, S. (eds.) (2009). *Energy Efficiency and Sustainable Consumption: The Rebound Effect*. Basingstoke: Palgrave Macmillan.
- Jevons, W. S. (1865). *The Coal Question: An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal-Mines*. Londres: Macmillan.
- Kaplan, R. S. y Cooper, R. (1998). *Cost and Effect: Using Integrated Cost Systems to Drive Profitability and Performance*. Boston: Harvard Business School Press.
- Khazzoom, J. D. (1980). Economic implications of mandated efficiency standards for household appliances. *The Energy Journal*, 1(4), 21–40.
- Luccioni, A. S., Strubell, E. y Crawford, K. (2025). From Efficiency Gains to Rebound Effects: The Problem of Jevons' Paradox in AI's Polarized Environmental Debate. *Proceedings of the ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency (FAccT '25)*.
- Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S. y Koomey, J. (2020). Recalibrating global data center energy-use estimates. *Science*, 367(6481), 984–986.
- Mitchell, B. R. (1988). *British Historical Statistics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Osorio, O. M. (1986). *La capacidad de producción y los costos*. Buenos Aires: Ediciones Macchi.
- Polimeni, J. M., Mayumi, K., Giampietro, M. y Alcott, B. (2008). *The Jevons Paradox and the Myth of Resource Efficiency Improvements*. Londres: Earthscan.
- Saunders, H. D. (1992). The Khazzoom–Brookes postulate and neoclassical growth. *The Energy Journal*, 13(4), 131–148.
- Savall, H. y Zardet, V. (1987). *Maîtriser les coûts et les performances cachés* (reediciones hasta 2015). París: Economica.
- Schaltegger, S. y Burritt, R. (2000). *Contemporary Environmental Accounting: Issues, Concepts and Practice*. Sheffield: Greenleaf Publishing.

- Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. Ginebra: World Economic Forum.
- Shank, J. K. y Govindarajan, V. (1993). *Strategic Cost Management: The New Tool for Competitive Advantage*. Nueva York: The Free Press.
- Sorrell, S. (2009). Jevons' Paradox revisited: The evidence for backfire from improved energy efficiency. *Energy Policy*, 37(4), 1456–1469.
- Universidad de las Naciones Unidas (UNU-INWEH) (2026). *Informe sobre huellas ambientales de la inteligencia artificial*. Hamilton: United Nations University.
- Wang, W. (2025). The Jevons Paradox: Why Efficiency Alone Won't Solve Our Data Center Carbon Challenge. *ACM SIGARCH Blog*.
- Yardín, A. (2009). *El análisis marginal: la mejor herramienta para tomar decisiones sobre costos y precios*. Buenos Aires: Instituto Argentino de Profesores Universitarios de Costos – Editorial Osmar D. Buyatti.