

Un modelo de cotización dinámica para el acceso tokenizado a conjuntos de datos en espacios de datos

Francisco Javier Jiménez Urbano

GrayHats S.L.U., Córdoba (España)

Proyecto *dataspace.es* — Convocatoria de Espacios de Datos

Resumen. Los espacios de datos europeos aportan la base técnica y de gobernanza para compartir datos de forma soberana, segura e interoperable, pero su capa económica suele reducirse a catálogos de precio estático que no reflejan ni la escasez de la oferta ni la demanda real de los consumidores. Este trabajo presenta un modelo de *acceso tokenizado con cotización dinámica* para marketplaces de espacios de datos. El acceso a un conjunto de datos se concede mediante *tokens* que delimitan un número máximo de peticiones y un volumen máximo de transferencia; el propietario controla el suministro —escaso o abundante— y el precio del token se obtiene de una función de cotización que combina de forma multiplicativa una componente de escasez y una componente de demanda sobre un precio base, acotada entre un suelo y un techo. La demanda se modela mediante impulsos de compra con reversión exponencial hacia una línea base. El precio se congela en el instante de compra y se registra de forma inmutable. Se formaliza el modelo, se demuestran sus propiedades (acotación, monotonía en escasez, reversión y determinismo transaccional) y se valida mediante escenarios numéricos y una simulación de la trayectoria de la cotización. Por último, se describe su realización sobre estándares abiertos —las *Open APIs* de TM Forum dentro del conector FIWARE y la arquitectura de referencia IDS-RAM—, lo que garantiza la interoperabilidad frente a un mecanismo propietario.

Palabras clave. espacios de datos, economía del dato, cotización dinámica, acceso tokenizado, precios dinámicos, TM Forum, FIWARE, IDS-RAM.

1. Introducción

La Estrategia Europea de Datos [1] y el marco regulatorio que la desarrolla —el Reglamento de Gobernanza de Datos [2] y el Reglamento de Datos [3]— promueven la creación de un mercado único de datos sustentado en *espacios de datos*: infraestructuras que permiten compartir e intercambiar datos entre organizaciones preservando la soberanía del dato, la confianza y la interoperabilidad. Las arquitecturas de referencia del sector, como IDS-RAM [4] y Gaia-X [5], junto con el Dataspace Protocol [6], han consolidado los componentes de conexión, identidad y gobernanza necesarios para el intercambio soberano. Sobre esa base técnica surgen los *marketplaces* de espacios de datos, que facilitan el descubrimiento, la contratación y el consumo de conjuntos de datos.

Sin embargo, la *capa económica* de estos marketplaces permanece poco desarrollada. El patrón habitual es el de un catálogo con precios estáticos, fijados a priori por el proveedor, que no se ajustan a la escasez del recurso ofertado ni a la intensidad de la demanda. Este enfoque desaprovecha el descubrimiento de valor que caracteriza a un mercado y limita los modelos de negocio basados en la compartición de datos: un conjunto de datos escaso y muy demandado se cotiza igual que uno abundante y poco solicitado.

Este trabajo aborda esa carencia con las siguientes contribuciones:

- un modelo de *acceso tokenizado* en el que el derecho de consumo se materializa en tokens con un doble límite

—peticiones y volumen de transferencia— bajo control del propietario sobre el suministro;

- una *función de cotización dinámica* que combina escasez y demanda sobre un precio base, acotada entre un suelo y un techo, con congelación del precio en el instante de compra;
- la demostración de sus *propiedades* (acotación, monotonía en escasez, reversión de la demanda, neutralidad en abundancia y determinismo transaccional);
- una *validación* mediante escenarios numéricos y una simulación de la trayectoria de la cotización; y
- su *realización sobre estándares abiertos* (TM Forum, FIWARE, IDS-RAM), que evita un mecanismo propietario no interoperable.

El resto del artículo se organiza así: la Sección 2 revisa el contexto y el trabajo relacionado; la Sección 3 describe el modelo de acceso tokenizado; la Sección 4 formaliza la cotización dinámica; la Sección 5 demuestra sus propiedades; la Sección 6 la valida; la Sección 7 detalla su realización sobre TM Forum; y las Secciones 8 y 9 discuten limitaciones y conclusiones.

2. Contexto y trabajo relacionado

Espacios de datos y arquitecturas de referencia. Un espacio de datos articula a productores y consumidores en torno a conectores que garantizan un intercambio soberano, descrito por el Dataspace Protocol [6] y las arquitecturas IDS-RAM [4] y Gaia-X [5]. En estas arquitecturas, un componente de *clearing house* registra las transacciones de forma trazable e inmutable, aportando confianza a la contabilidad del intercambio. La identidad se apoya crecientemente en credenciales verificables y en la identidad digital europea conforme a eIDAS 2.0 [9].

Proyecto *Plataforma dataspace.es* (expediente TSI-100130-2024-31), beneficiario GrayHats S.L.U. Financiado por la Secretaría de Estado de Digitalización e Inteligencia Artificial del Ministerio para la Transformación Digital y de la Función Pública, y por la Unión Europea – NextGenerationEU a través del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia. Véase la sección de *Financiación*. Correspondencia: GrayHats S.L.U., Córdoba, España.

Conector FIWARE y Open APIs de TM Forum. El FIWARE Data Space Connector [7] implementa estos componentes y expone, a través de su módulo *tmforum-api*, las *Open APIs* de TM Forum [8] para la gestión de catálogo, pedidos, inventario, uso y cotización. La aplicación de políticas de acceso se delega en un punto de aplicación (PEP) que contabiliza el consumo en cada acceso al dato. Este sustrato estándar es el que habilita una capa económica interoperable.

Precios dinámicos. El ajuste del precio en función de la escasez y de la demanda es un principio clásico de la gestión de ingresos y de los mercados con capacidad limitada. Su traslación a los espacios de datos presenta particularidades: el bien es no rival (puede servirse muchas veces) pero su *acceso* puede acotarse mediante límites de consumo, y la unidad negociable natural es el *token* de acceso. La novedad de este trabajo reside en formular un mecanismo de cotización dinámica específico para tokens de acceso a datos y en materializarlo sobre los estándares de espacios de datos, en lugar de un motor de precios propietario. Un punto de partida favorable es que el concepto de *cotización* se corresponde de forma natural con el recurso *Quote* (TMF648) de TM Forum.

3. Modelo de acceso tokenizado

La plataforma concede el acceso a un conjunto de datos mediante un *token de acceso* que delimita el volumen que el consumidor podrá consumir por un precio: un número máximo de *peticiones* y un volumen máximo de *transferencia* medido en terabytes (TB). Cada token lleva asociado un precio; al alcanzar cualquiera de sus límites, el token se agota y, para seguir accediendo, el consumidor deberá adquirir otro.

Los tokens solo pueden ser creados por el *propietario* del conjunto de datos, que decide el *suministro*: abundante (emisión ilimitada), si desea que muchos consumidores accedan, o escaso (emisión limitada de N tokens), si desea reservar el acceso a unos pocos. Sobre esa base, el sistema habilita una *cotización dinámica*: el precio del token varía en función de la oferta (escasez del suministro) y la demanda. El precio del token en un instante dado es su *cotización*.

3.1. Conceptos

Una *oferta tokenizada* es la configuración, asociada a un dataset, que define los límites por token, el precio base, el modo de precio, el suministro y los parámetros de cotización. Un *token de acceso* es la instancia adquirida por un consumidor. El *modo de precio* puede ser *fijo* (precio constante igual al precio base) o *dinámico* (cotización variable acotada por un suelo y un techo).

3.2. Invariantes

El modelo se rige por las siguientes restricciones, que gobiernan su corrección funcional:

- solo el propietario crea, edita, pausa o retira ofertas de su dataset;
- un token concede un límite de peticiones y un límite de transferencia; se considera *agotado* al alcanzar cualquiera de los dos, lo que ocurra antes;
- en emisión escasa, cuando el número de tokens vendidos alcanza N , la oferta pasa a *Agotada* y no admite nuevas compras;

- el precio efectivo de una compra es la cotización evaluada en el instante de confirmación; ese valor se *congela* en el token y no se altera por cotizaciones posteriores;
- toda compra se registra de forma inmutable —incluida la cotización aplicada— en la capa de *clearing house*, y activa automáticamente los derechos de acceso del consumidor;
- un consumidor puede poseer varios tokens sobre un mismo dataset; el consumo se contabiliza sobre el token activo;
- la aplicación efectiva de los límites se realiza en el PEP en cada acceso; y
- la cotización mostrada antes de confirmar la compra coincide con la que se aplicará (transparencia de precio).

3.3. Ciclos de vida

La funcionalidad gestiona dos ciclos de vida independientes, representados en la Figura 1. La *oferta tokenizada* transita entre Borrador, Publicada, Pausada, Agotada y Retirada; la publicación la hace visible y contratable, el agotamiento ocurre cuando se vende todo el suministro escaso, y la retirada no invalida los tokens ya vendidos. El *token de acceso* transita entre Disponible, Activo, Agotado y Caducado/Revocado; la compra lo activa y congela su precio, y alcanzar un límite lo agota, momento en el que el consumidor puede adquirir otro.

3.4. Modelo de datos

El modelo extiende las entidades del catálogo de la plataforma. La *oferta tokenizada* especializa la entidad genérica *Oferta* (añadiendo límites, precio base, modo, suministro, parámetros y el contador de vendidos v). Se incorporan el *token de acceso* (con sus límites concedidos, contadores de consumo, precio pagado y estado), la *cotización* (serie histórica del precio, con instante, índice de demanda y vendidos) y el *registro de consumo* (evento de uso: peticiones y bytes transferidos, fuente de la contabilización de límites). La compra se refleja en la entidad *Transacción*, que incorpora la cotización aplicada y el *hash* de su registro inmutable.

4. Cotización dinámica

En modo dinámico, la cotización combina dos presiones —*escasez* (oferta) y *demand*— sobre un precio base P_0 , y queda acotada entre un suelo $P_{\min}$ y un techo $P_{\max}$.

4.1. Formulación

Sea v el número de tokens vendidos de una emisión de suministro N , y $D(t)$ el índice de demanda en el instante t . La cotización se define como

$$C(t) = \text{clamp}(P_0 \cdot M_e(v) \cdot M_d(t), P_{\min}, P_{\max}), \quad (1)$$

con las componentes de escasez y demanda

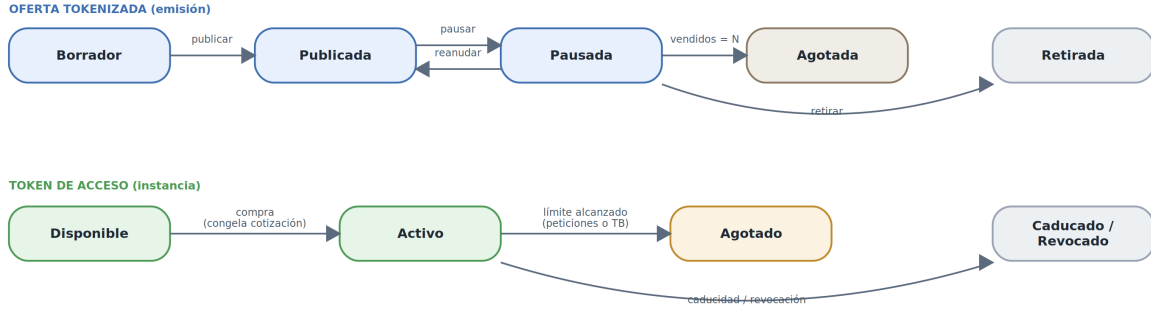
$$M_e(v) = 1 + k_e \left(\frac{v}{N}\right)^\gamma, \quad (2)$$

$$M_d(t) = 1 + k_d D(t), \quad (3)$$

donde $\text{clamp}(x, a, b) = \min(\max(x, a), b)$ acota x al intervalo $[a, b]$. Si el suministro es ilimitado (abundante), la componente de escasez es neutra: $M_e = 1$.

Ciclos de vida — oferta tokenizada y token de acceso (RF-20)

Estados y transiciones



El precio pagado por el consumidor es la cotización evaluada en el instante de compra; se congela en el token y en la transacción (registro inmutable, RF-22).

Figura 1. Ciclos de vida de la oferta tokenizada (arriba) y del token de acceso (abajo), con sus estados y transiciones. Elaboración propia.

4.2. Componente de escasez

El multiplicador $M_e(v)$ de la ecuación (2) crece con la fracción vendida v/N . El exponente γ define la forma de la curva: *lineal* ($\gamma = 1$) o *convexa* ($\gamma > 1$), en la que los últimos tokens del suministro se encarecen de forma más acusada —el «acceso de privilegio»—. El coeficiente k_e fija la intensidad del encarecimiento por escasez.

4.3. Componente de demanda

El multiplicador $M_d(t)$ de la ecuación (3) depende de un índice de demanda $D(t)$ que refleja la presión de compra reciente. Cada compra aporta un impulso β y, entre eventos, el índice revierte exponencialmente hacia una línea base D_0 :

$$\text{por cada compra: } D \leftarrow D + \beta, \quad (4)$$

$$\text{entre eventos: } D(t + \Delta t) = D_0 + (D(t) - D_0) e^{-\lambda \Delta t}. \quad (5)$$

Así, las ráfagas de compras elevan la cotización y los periodos de baja demanda la reducen (D puede tomar valores negativos), siempre dentro de $[P_{\min}, P_{\max}]$. La tasa λ fija la velocidad de reversión, con semivida $t_{1/2} = \ln 2 / \lambda$.

4.4. Parámetros

La Tabla 1 resume los parámetros configurables, quién los fija y valores de ejemplo. El propietario controla los que determinan su política comercial (precio base, suministro, suelo/techo, convexidad y sensibilidad a la demanda); la plataforma fija los que gobiernan la dinámica interna del índice. La Figura 2 ilustra por separado ambas componentes.

5. Propiedades del modelo

De la formulación anterior se derivan las siguientes propiedades, que caracterizan el comportamiento del mecanismo y constituyen criterios verificables de su implementación.

Propiedad 1 (Acotación). Por construcción de (1), la cotización nunca sale del intervalo $[P_{\min}, P_{\max}]$, con independencia de la escasez y la demanda.

Propiedad 2 (Monotonía en escasez). Con emisión finita y demanda constante, $M_e(v)$ es no decreciente en v (pues $\gamma >$

Tabla 1. Parámetros configurables del modelo de cotización.

Símb.	Significado	Lo fija	Ejemplo
P_0	Precio base	Propietario	25 €
N	Suministro (tokens)	Propietario	20 / ∞
$P_{\min}, P_{\max}$	Suelo y techo	Propietario	25 / 75 €
γ	Exponente de escasez	Propietario	1 / 1,8
k_e	Coef. de escasez	Plataforma	1,4
k_d	Sensib. a la demanda	Propietario	0,35–1,0
β	Impulso por compra	Plataforma	0,40
λ	Tasa de decaimiento	Plataforma	$\ln 2 / 6$
D_0	Línea base de demanda	Plataforma	0

0); por tanto la cotización no decrece al aumentar los tokens vendidos.

Propiedad 3 (Reversión de la demanda). En ausencia de nuevas compras, $D(t) \rightarrow D_0$ según (5); la componente de demanda revierte hacia su línea base y la cotización «se enfría».

Propiedad 4 (Neutralidad en abundancia). Con suministro ilimitado, $M_e = 1$ y la cotización depende únicamente de la demanda, siempre dentro de $[P_{\min}, P_{\max}]$.

Propiedad 5 (Determinismo transaccional). El precio se fija en el instante de compra y no se altera retroactivamente: la cotización congelada en un token es independiente de la evolución posterior de $C(t)$.

6. Validación numérica

6.1. Escenarios

La Tabla 2 evalúa la cotización (1) en escenarios representativos con $P_0 = 25$ €, $N = 20$, $k_e = 1,4$, $\gamma = 1,8$, $k_d = 0,6$, $P_{\min} = 25$ € y $P_{\max} = 75$ €. Se observa cómo la escasez (v creciente) y la demanda (D) elevan la cotización de forma independiente y combinada, y cómo el techo la acota en el límite superior.

6.2. Trayectoria simulada

Para observar el comportamiento combinado, la Figura 3 simula la trayectoria de la cotización a lo largo de una secuencia de compras que agota el suministro ($N = 20$) con ráfagas de demanda, usando los mismos parámetros y $\beta = 0,40$, $\lambda = \ln 2 / 6$, $D_0 = 0$. La cotización parte del

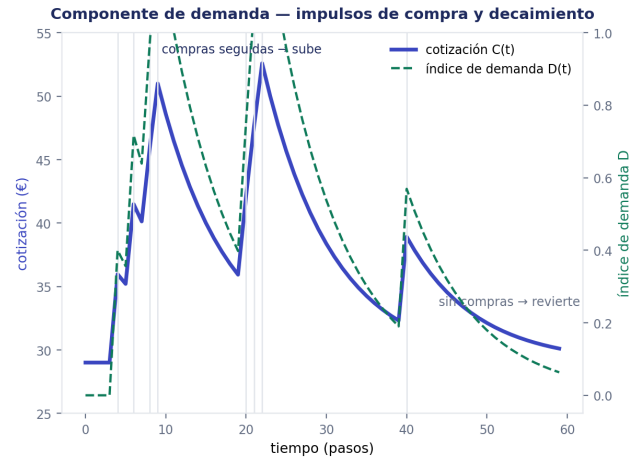
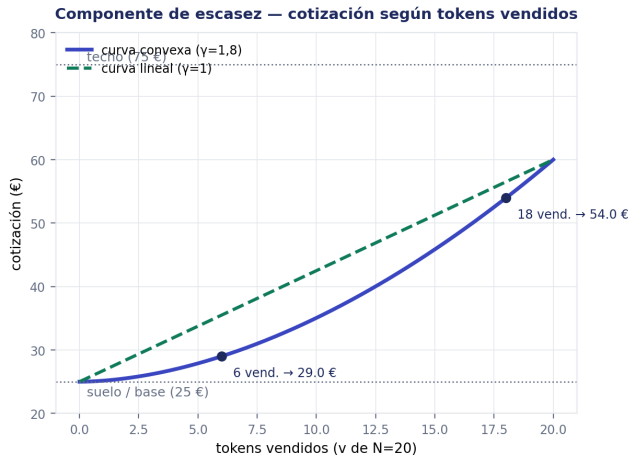


Figura 2. Componentes de la cotización: escasez frente a tokens vendidos (izquierda) y dinámica de la demanda con impulsos de compra y decaimiento (derecha). Elaboración propia.

Tabla 2. Cotización en escenarios representativos.

Escenario	v	D	M_e	M_d	Cotiz.
Inicial (sin demanda)	0	0,00	1,000	1,000	25,00 €
Demanda moderada	6	0,12	1,160	1,072	31,09 €
Pico de demanda	6	0,80	1,160	1,480	42,92 €
Suministro casi agotado	18	0,20	2,158	1,120	60,42 €
Último token + demanda alta	19	0,50	2,277	1,300	73,99 €
Límite superior (al techo)	20	0,50	2,400	1,300	75,00 €

precio base, asciende con cada compra por el doble efecto de escasez y demanda, y se satura en el techo al aproximarse al agotamiento. Tras agotarse el suministro, al no admitirse nuevas compras, la componente de demanda revierte y la cotización descende, pero se mantiene elevada porque la escasez permanece en su máximo ($v = N$), estabilizándose en torno a $P_0 M_e(1) = 60$ €. La simulación ilustra conjuntamente las Propiedades 1 (acotación), 2 (monotonía en escasez) y 3 (reversión), y es ilustrativa del modelo, no una medición empírica.

7. Realización sobre estándares abiertos

El modelo se implementa sobre las *Open APIs* de TM Forum que expone el conector FIWARE (componente `tmforum-api`), reutilizando su modelo de información de catálogo, pedido, inventario, uso y cotización. Esta elección —frente a un motor de precios propietario— preserva la interoperabilidad del marketplace con el ecosistema de espacios de datos.

7.1. Correspondencia de entidades

La Tabla 3 establece la correspondencia entre los conceptos del modelo y los recursos de TM Forum. El algoritmo de la Sección 4 se declara como un `pricingLogicAlgorithm` (TMF620) asociado al `ProductOfferingPrice` de la oferta, con sus parámetros; el motor de precios lo evalúa para producir la cotización vigente, que se sirve al consumidor como una *Quote* (TMF648). La congelación del precio (Propiedad 5) se materializa al referenciar esa *Quote* desde el `ProductOrder`.

7.2. Flujo extremo a extremo

El ciclo completo sobre TM Forum se compone de cinco pasos:

Tabla 3. Correspondencia del modelo con los recursos de TM Forum.

Concepto del modelo	Recurso TM Forum	API
Dataset (como producto)	<code>ProductSpecification</code>	TMF620
Oferta tokenizada	<code>ProductOffering + ProductOfferingPrice</code>	TMF620
Algoritmo de cotización	<code>pricingLogicAlgorithm</code>	TMF620
Cotización (precio en t)	<code>Quote / QuoteItem</code>	TMF648
Compra	<code>ProductOrder</code>	TMF622
Token de acceso	<code>Product (inventario)</code>	TMF637
Registro de consumo	<code>Usage / UsageSpecification</code>	TMF635
Transacción (hash)	<code>ProductOrder + CustomerBill</code>	TMF622/678

1. el productor crea `ProductSpecification` (dataset), `ProductOffering` y `ProductOfferingPrice` con su `pricingLogicAlgorithm` [TMF620];
2. el consumidor solicita una *Quote* [TMF648] y obtiene la cotización actual;
3. el consumidor crea un `ProductOrder` [TMF622] referenciando la *Quote*, con lo que el precio queda congelado;
4. al completarse el pedido se crea el *Product* en inventario [TMF637], se registra la identidad del comprador, se genera la factura [TMF678] y el registro inmutable; y
5. en cada acceso, el PEP reporta el consumo como *Usage* [TMF635]; al superarse un límite, el *Product* pasa a «terminated» (Agotado).

7.3. Extensiones sobre el estándar

Tres elementos del modelo no son campos nativos de TM Forum y se modelan, sin romper el estándar, mediante características (*characteristics*) y parámetros: el *suministro/escasez* (N y su control), el *índice de demanda* (parámetro dinámico del algoritmo) y el *hash* de registro inmutable, que se adjunta como característica o nota al `ProductOrder/CustomerBill`.

8. Discusión y limitaciones

Transparencia y confianza. El carácter dinámico del precio podría generar desconfianza si el consumidor percibiera

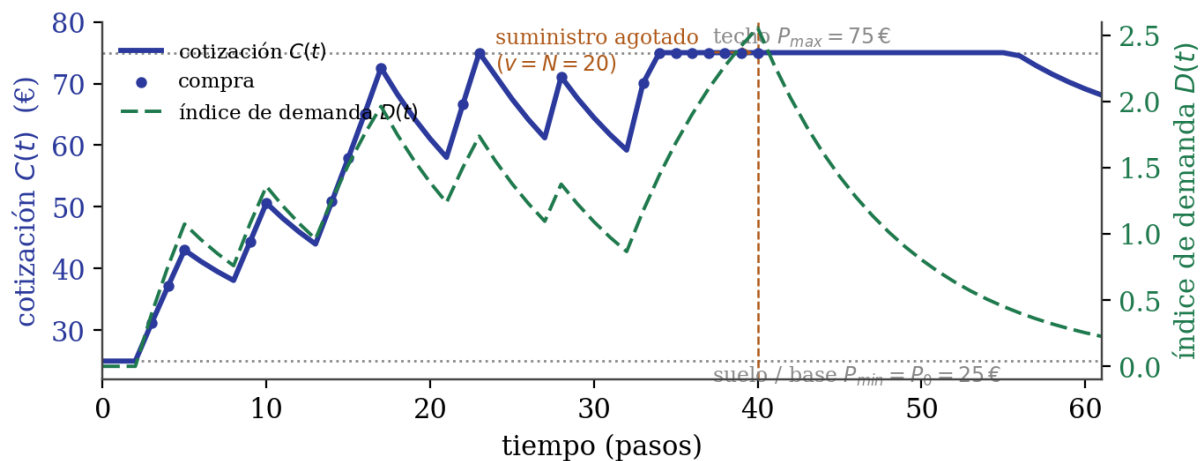


Figura 3. Trayectoria simulada de la cotización $C(t)$ (eje izquierdo) y del índice de demanda $D(t)$ (eje derecho) a lo largo de una secuencia de compras que agota el suministro. Elaboración propia.

opacidad. El modelo lo mitiga por diseño: la cotización mostrada coincide con la aplicada, se congela en la compra (Propiedad 5) y se registra de forma inmutable en la *clearing house*. Esta trazabilidad es condición de aceptación del mecanismo.

Interoperabilidad. Apoyar la monetización en estándares abiertos (TM Forum sobre FIWARE) en lugar de un motor propietario favorece la portabilidad de las ofertas y su integración con otros participantes del espacio de datos, a costa de modelar tres elementos como extensiones controladas del estándar.

Limitaciones. Los parámetros del modelo (k_e , k_d , γ , β , λ) requieren calibración con datos reales de uso, de la que este trabajo no dispone; la validación presentada es analítica y de simulación, no empírica. El mecanismo podría inducir comportamientos estratégicos (p. ej., compras coordinadas para alterar la cotización), cuyo estudio queda pendiente. Finalmente, el modelo no aborda explícitamente objetivos de equidad en el acceso, que podrían entrar en tensión con la señal de escasez.

Trabajo futuro. Se contempla la calibración empírica de los parámetros con tráfico real, el diseño de salvaguardas frente al comportamiento estratégico, la exploración de esquemas de subasta como alternativa a la cotización continua y el análisis de bienestar del mecanismo.

9. Conclusiones

Se ha presentado un modelo de acceso tokenizado con cotización dinámica para marketplaces de espacios de datos que supera el patrón de catálogo estático dotando al precio de una señal de escasez y de demanda, acotada y transparente. El modelo se ha formalizado, se han demostrado sus propiedades y se ha validado mediante escenarios numéricos y una simulación de su trayectoria. Su realización sobre las *Open APIs* de TM Forum dentro del conector FIWARE y la arquitectura IDS-RAM garantiza la interoperabilidad frente a un mecanismo propietario, situando la capa económica del marketplace al mismo nivel de estandarización que las capas de conexión e identidad. El modelo se ha desarrollado en el marco del proyecto *dataspace.es*.

Financiación

Este trabajo forma parte del proyecto «Plataforma *dataspace.es*» (expediente TSI-100130-2024-31), financiado por la Secretaría de Estado de Digitalización e Inteligencia Artificial del Ministerio para la Transformación Digital y de la Función Pública, en el marco del Programa de Productos y Servicios Tecnológicos para Espacios de Datos, y financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU a través del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.

Financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU. Sin embargo, los puntos de vista y las opiniones expresadas son únicamente los del autor o autores y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea o la Comisión Europea. Ni la Unión Europea ni la Comisión Europea pueden ser consideradas responsables de las mismas.

Publicidad de la financiación:



Financiado por la
Unión Europea
NextGenerationEU



**Plan de Recuperación,
Transformación y Resiliencia**

Referencias

- [1] Comisión Europea, *Una Estrategia Europea de Datos*, COM(2020) 66 final, 2020.
- [2] Reglamento (UE) 2022/868 relativo a la gobernanza europea de datos (*Data Governance Act*), 2022.
- [3] Reglamento (UE) 2023/2854 sobre normas armonizadas para un acceso justo a los datos y su utilización (*Data Act*), 2023.
- [4] International Data Spaces Association, *IDS Reference Architecture Model (IDS-RAM)*, versión 4, 2023.
- [5] Gaia-X European Association for Data and Cloud AISBL, *Gaia-X Architecture Document*, 2023.

- [6] International Data Spaces Association, *Dataspace Protocol*, especificación técnica, 2024.
- [7] FIWARE Foundation, *FIWARE Data Space Connector*, documentación técnica, 2024.
- [8] TM Forum, *Open API Suite* (TMF620 Product Catalog, TMF622 Product Ordering, TMF637 Product Inventory, TMF635 Usage Management, TMF648 Quote, TMF651 Agreement, TMF666 Account, TMF632 Party, TMF678 Customer Bill), 2023.
- [9] Reglamento (UE) 2024/1183 por el que se establece el Marco Europeo de Identidad Digital (*eIDAS 2.0*), 2024.
- [10] UNE 0081:2023, *Evaluación de la calidad del dato*, AENOR, 2023.