

RIESGOS FINANCIEROS

Notas Técnicas:

Construcción de superficies de
volatilidad FX

Enero 16, 2026

RIESGOS FINANCIEROS

NOTAS TÉCNICAS



Construcción de superficies de volatilidad FX

PÁG. 2

Objetivo general
Introducción
¿Qué es una superficie de volatilidad FX?

PÁG. 3

Convenciones de mercado en opciones FX

PÁG. 4

Metodología de construcción

PÁG. 9

Caso práctico

PÁG. 11

Aplicaciones
Supuestos y limitantes
Conclusiones

PÁG. 12

Notas y referencias

OBJETIVO GENERAL

El objetivo de la presente nota técnica es documentar y formalizar el concepto, la metodología de construcción y las principales aplicaciones de la superficie de volatilidad implícita en el mercado de opciones de tipo de cambio (FX), a partir de cotizaciones observables de mercado y conforme a las convenciones estándar del mercado FX, con el fin de proporcionar un marco consistente para la valuación de instrumentos derivados, la medición de riesgos y el análisis interno dentro de la institución.

INTRODUCCIÓN

En el mercado de derivados de tipo de cambio (FX), la volatilidad implícita es un insumo fundamental para la valuación de opciones y la medición de sus exposiciones al riesgo. Las cotizaciones observadas en el mercado muestran que la volatilidad implícita no es constante, sino que depende tanto del precio de ejercicio como del tiempo al vencimiento, reflejando las expectativas del mercado respecto a la distribución futura del tipo de cambio y posibles asimetrías entre escenarios de apreciación y depreciación de la divisa.

Con el fin de representar de manera consistente esta dependencia, el mercado FX utiliza convenciones específicas de cotización de volatilidad, tales como volatilidades *at-the-money*, *Risk Reversals* y *Butterflies*, generalmente expresadas en términos de delta. A partir de estas cotizaciones, se construye una superficie de volatilidad continua que concentra la información implícita del mercado y que constituye un insumo fundamental para la valuación de opciones FX, el análisis de sensibilidades y una interpretación consistente de las condiciones del mercado cambiario.

¿QUÉ ES UNA SUPERFICIE DE VOLATILIDAD FX?

Una superficie de volatilidad FX es una representación funcional de la volatilidad implícita de opciones de tipo de cambio como función del precio de ejercicio y del tiempo al vencimiento. Formalmente, una superficie de volatilidad FX se representa como una función bidimensional de la volatilidad implícita en términos del precio de ejercicio y del tiempo al vencimiento:

$$\sigma = \sigma(K, T), \quad K > 0, T > t \quad (1)$$

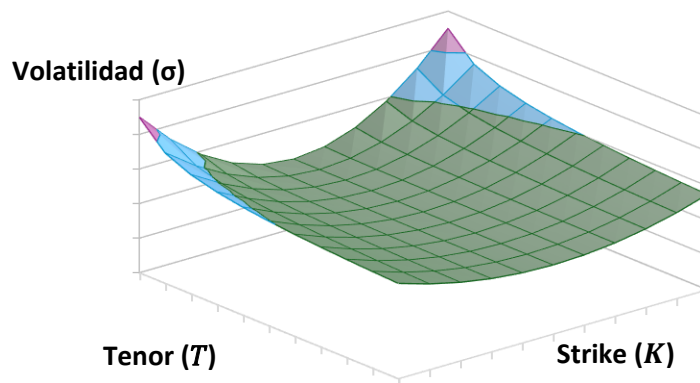
donde K denota el precio de ejercicio de la opción, T su vencimiento y t la fecha de valuación. La dependencia de la volatilidad implícita respecto al vencimiento es un elemento central en el análisis de superficies, ya que el nivel y la forma de la volatilidad observada en el mercado varían de manera sistemática a lo largo del eje temporal.

Para un vencimiento fijo T , la dependencia de la volatilidad implícita con respecto al precio de ejercicio define la denominada sonrisa de volatilidad, mientras que la variación de la volatilidad implícita a lo largo de distintos vencimientos describe la estructura temporal de la volatilidad.

En el mercado FX, la superficie de volatilidad no se observa de forma directa, sino que se infiere a partir de un conjunto finito de cotizaciones estándar de mercado, típicamente expresadas en términos de delta. Estas cotizaciones imponen restricciones sobre la forma de la sonrisa de volatilidad para cada vencimiento, a partir de las cuales se construye una superficie continua que permite obtener volatilidades implícitas para combinaciones arbitrarias de precio de ejercicio y plazo, dicha superficie constituye un objeto central para la valuación consistente de opciones FX y para la medición de riesgos asociados a movimientos del tipo de cambio.

La Figura 1 ilustra de manera esquemática una superficie de volatilidad FX, mostrando la dependencia de la volatilidad implícita respecto del precio de ejercicio y del tiempo al vencimiento.

Figura 1. Representación conceptual de una superficie de volatilidad FX



CONVENCIONES DE MERCADO EN OPCIONES FX

En el mercado de opciones de tipo de cambio, la volatilidad implícita no se cotiza de manera directa en función del precio de ejercicio, sino mediante un conjunto de convenciones de mercado estandarizadas que permiten una comunicación consistente entre los distintos participantes. Dichas convenciones se basan en el uso del delta como medida de *moneyness* y constituyen el marco de referencia para la construcción de sonrisas y superficies de volatilidad.

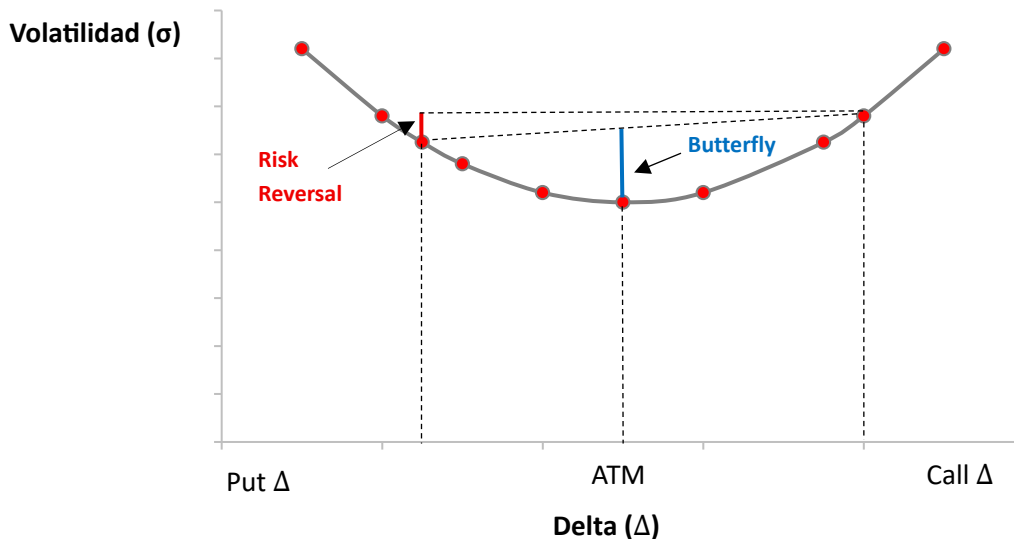
El delta puede definirse con respecto al tipo de cambio *spot* o *forward* y, adicionalmente, puede considerarse o no el ajuste derivado del pago de la prima en moneda extranjera. La convención de delta utilizada depende del par de divisas, del vencimiento de la opción y de las prácticas de cobertura prevalentes en el mercado. En general, en pares que incluyen monedas de mercados emergentes se emplean deltas *forward* con prima ajustada, mientras que en pares de monedas G10 se utilizan deltas *spot* o *forward*, dependiendo del horizonte temporal. En lo que sigue, para efectos de exposición metodológica, se adopta la convención de delta *forward* no ajustada por prima.

Las cotizaciones de volatilidad se expresan habitualmente a través de tres instrumentos estándar:

- **Volatilidad *at-the-money* (ATM):** establece el nivel base de volatilidad para un vencimiento determinado
- **Risk Reversal (RR):** mide la asimetría entre las volatilidades implícitas de opciones de compra y de venta
- **Butterfly (BF):** captura la curvatura de la sonrisa de volatilidad

Con el fin de ilustrar la interpretación conjunta de estas cotizaciones estándar y su impacto sobre la forma de la sonrisa de volatilidad, la Figura 2 muestra una representación esquemática de la sonrisa de volatilidad en espacio de delta (Δ).

Figura 2. Representación de la sonrisa de volatilidad en espacio de delta



En conjunto, estas cotizaciones definen un conjunto de restricciones implícitas que permiten reconstruir la sonrisa de volatilidad para cada vencimiento y sirven como insumo fundamental para la construcción de la superficie de volatilidad FX.

Desde un punto de vista conceptual, la construcción de una superficie de volatilidad FX puede interpretarse como la combinación de dos componentes diferenciados. Por un lado, la curva de volatilidad *at-the-money* define el nivel base de volatilidad implícita como función del vencimiento. Por otro lado, las sonrisas de volatilidad describen la desviación relativa de la volatilidad con respecto al ATM para distintos niveles de *moneyness*. La superficie de volatilidad resulta de integrar ambos componentes de manera consistente a lo largo de los distintos vencimientos.

METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN

La construcción de una superficie de volatilidad FX consiste en transformar un conjunto discreto de cotizaciones de mercado, expresadas bajo convenciones estándar, en una representación continua de la volatilidad implícita como función del precio de ejercicio y del tiempo al vencimiento. El proceso se implementa bajo un marco de valuación estándar para opciones FX (p. ej. Black–Scholes para FX) e incluye:

- (i) Preparación y validación de insumos de mercado
- (ii) Reconstrucción de volatilidades por delta para cada vencimiento
- (iii) Conversión delta-*strike* para obtener puntos (K, σ)
- (iv) Interpolación/extrapolación en *strike* para formar la sonrisa por vencimiento
- (v) Interpolación en el eje temporal para ensamblar la superficie final

1. Insumos de mercado y marco de valuación

La construcción de la superficie de volatilidad FX se realiza para una fecha de valuación t , un par de divisas determinado y un conjunto discreto de vencimientos T . El proceso parte de insumos de mercado observables y se apoya en un marco estándar de valuación de opciones FX.

Los insumos requeridos son:

- El tipo de cambio *spot* observado en la fecha de valuación, S_t
- Las curvas de tasas de interés doméstica y extranjera, $r_d(T)$ y $r_f(T)$, utilizadas para el descuento de flujos y la determinación del tipo de cambio *forward*
- Cotizaciones de volatilidad implícita por vencimiento, expresadas bajo convenciones estándar de mercado:
 - Volatilidad *at-the-money*, $\sigma_{ATM}(T)$
 - *Risk Reversal* para un nivel de delta Δ , $RR_{\Delta}(T)$
 - *Butterfly* para el mismo nivel de delta, $BF_{\Delta}(T)$

A partir de las curvas de tasas, el tipo de cambio *forward* para cada vencimiento T se define como:

$$F(t, T) = S_t e^{(r_d(T) - r_f(T))(T-t)} \quad (2)$$

La valuación de opciones FX y la interpretación de las cotizaciones de volatilidad implícita se realizan bajo el marco de Black–Scholes ajustado para FX en el cual el valor de una opción depende explícitamente del precio de ejercicio K , del vencimiento T , del *forward* $F(t, T)$ y de la volatilidad implícita σ .

La volatilidad *at-the-money*, $\sigma_{ATM}(T)$, se define conforme a la convención de mercado *ATM-forward* y representa el nivel base de volatilidad implícita para cada vencimiento. Por su parte, las cotizaciones de *Risk Reversal* y *Butterfly* no corresponden a volatilidades implícitas absolutas, sino a combinaciones lineales de volatilidades implícitas asociadas a opciones call y put con el mismo nivel absoluto de delta Δ . Formalmente, para un vencimiento T , se definen como:

$$RR_{\Delta}(T) = \sigma_{call, \Delta}(T) - \sigma_{put, \Delta}(T) \quad (3)$$

$$BF_{\Delta}(T) = \frac{1}{2} (\sigma_{call, \Delta}(T) + \sigma_{put, \Delta}(T)) - \sigma_{ATM}(T) \quad (4)$$

Estas definiciones fijan el significado preciso de las cotizaciones de volatilidad observadas en el mercado y establecen el marco a partir del cual, en la siguiente sección, se describe el procedimiento para reconstruir explícitamente las volatilidades implícitas de opciones call y put y obtener la sonrisa de volatilidad en espacio de delta para cada vencimiento.

2. Reconstrucción de Volatilidades por Delta

Una vez establecidas las definiciones y convenciones de las cotizaciones de volatilidad implícita observadas en el mercado, el siguiente paso consiste en reconstruir explícitamente, para cada vencimiento T , las volatilidades implícitas asociadas a opciones de compra y de venta para distintos niveles de delta. Este procedimiento permite traducir las cotizaciones *at-the-money*, *Risk Reversal* y *Butterfly* en un conjunto concreto de volatilidades implícitas que definen la sonrisa de volatilidad en espacio de delta.

Para un vencimiento T y un nivel de delta Δ , las definiciones establecidas en la sección anterior implican un sistema de ecuaciones lineales que relaciona las volatilidades implícitas de la opción call y put con las cotizaciones de mercado. En particular, a partir de las definiciones de $RR_{\Delta}(T)$ y $BF_{\Delta}(T)$, las volatilidades implícitas de las opciones call y put se obtienen de manera directa como:

$$\sigma_{call, \Delta}(T) = \sigma_{ATM}(T) + BF_{\Delta}(T) + \frac{1}{2} RR_{\Delta}(T) \quad (5)$$

$$\sigma_{put, \Delta}(T) = \sigma_{ATM}(T) + BF_{\Delta}(T) - \frac{1}{2} RR_{\Delta}(T) \quad (6)$$

Estas expresiones permiten reconstruir, para cada vencimiento, las volatilidades implícitas correspondientes a opciones call y put para los niveles de delta cotizados en el mercado, típicamente 10Δ

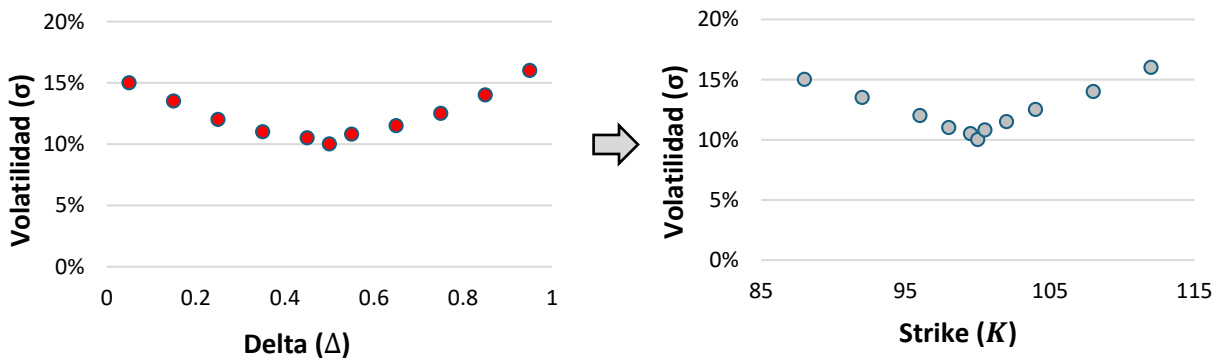
y 25Δ . En conjunto con la volatilidad *at-the-money*, dichas volatilidades definen un conjunto discreto de puntos que caracteriza la forma de la sonrisa de volatilidad en espacio de delta. El procedimiento anterior se aplica de manera independiente para cada vencimiento disponible, sin imponer a priori restricciones funcionales adicionales sobre la forma de la sonrisa. El resultado es una representación discreta de la volatilidad implícita como función del delta, que refleja de forma directa la información contenida en las cotizaciones de mercado y que sirve como punto de partida para la conversión posterior al espacio del precio de ejercicio.

3. Definición de delta y conversión delta–strike

La reconstrucción descrita en la sección anterior proporciona, para cada vencimiento T , un conjunto discreto de volatilidades implícitas expresadas en términos de delta. Sin embargo, dado que la valuación de opciones y la definición de la superficie de volatilidad requieren una representación explícita de la volatilidad como función del precio de ejercicio, el siguiente paso consiste en convertir cada par (Δ, σ) en el correspondiente par (K, σ) .

Este cambio de variable permite trasladar la sonrisa de volatilidad del espacio de delta al espacio del precio de ejercicio. Este proceso de conversión se ilustra de manera esquemática en la Figura 3, que muestra la correspondencia entre la sonrisa de volatilidad expresada en espacio de delta y su representación equivalente en términos de precio de ejercicio.

Figura 3. Representación esquemática del mapeo de la sonrisa de volatilidad desde el espacio de delta al espacio de precio de ejercicio.



La relación entre delta y precio de ejercicio depende del marco de valuación y de la convención de delta utilizada. En el contexto del modelo de Black–Scholes ajustado para FX, y bajo la convención de delta *forward* no ajustada por prima, el delta de una opción *vanilla* se define como:

$$\Delta_f = \phi N(\phi d_+) \quad (7)$$

donde $\phi = +1$ para opciones call y $\phi = -1$ para opciones put, $N(\cdot)$ denota la función de distribución acumulada de una normal estándar, y

$$d_+ = \frac{\ln\left(\frac{F(t, T)}{K}\right) + \frac{1}{2} \sigma^2 (T - t)}{\sigma \sqrt{T - t}} \quad (8)$$

Dado un vencimiento T , una volatilidad implícita σ reconstruida en la sección anterior y un nivel de delta objetivo Δ , el precio de ejercicio correspondiente se obtiene resolviendo la ecuación:

$$\phi N(\phi d_+) = \Delta \quad (9)$$

Esta relación puede invertirse de forma analítica bajo la convención de delta *forward* no ajustada, dando lugar a la siguiente expresión explícita para el precio de ejercicio:

$$K = F(t, T) \exp\left(-\sigma\sqrt{T-t} N^{-1}(\phi\Delta) + \frac{1}{2} \sigma^2(T-t)\right) \quad (10)$$

donde $N^{-1}(\cdot)$ denota la función inversa de la distribución normal estándar.

En el caso de utilizar deltas ajustadas por prima, la relación entre delta y precio de ejercicio no admite una forma cerrada, ya que el delta depende de manera implícita del precio de la opción. En dichos casos, el precio de ejercicio debe obtenerse mediante métodos numéricos, típicamente utilizando algoritmos numéricos como Newton–Raphson, garantizando la convergencia y estabilidad del procedimiento. La aplicación de este proceso para cada nivel de delta reconstruido en la sección anterior permite obtener, para cada vencimiento T , un conjunto discreto de pares (K_i, σ_i) que representan la sonrisa de volatilidad expresada en términos de precio de ejercicio. Este conjunto constituye la base para la construcción de una función continua de volatilidad implícita en el eje del precio de ejercicio, lo cual se aborda en la siguiente sección.

4. Construcción de la sonrisa de volatilidad por vencimiento

La conversión de delta a precio de ejercicio descrita en la sección anterior permite obtener, para cada vencimiento fijo T , un conjunto discreto de pares (K_i, σ_i) que representan la volatilidad implícita reconstruida a partir de las cotizaciones de mercado y expresada en términos de precio de ejercicio. Sin embargo, dado que el mercado FX únicamente proporciona información en un número limitado de strikes por vencimiento, y que los procesos de valuación y cálculo de sensibilidades requieren una representación continua de la volatilidad implícita en el eje del precio de ejercicio, resulta necesario interpolar dicha información.

Para un vencimiento fijo T , se define la sonrisa de volatilidad como una función continua $\sigma(K | T)$ destacando que la dependencia funcional en el precio de ejercicio se analiza de manera condicional al vencimiento y que la función resultante reproduce exactamente las volatilidades implícitas observadas en los puntos discretos (K_i, σ_i) . En este contexto, la interpolación en el eje del precio de ejercicio tiene como objetivo reconstruir la forma de la sonrisa entre strikes no observados, preservando suavidad, estabilidad numérica y consistencia con las cotizaciones de mercado.

Con el fin de mejorar la estabilidad del procedimiento y evitar comportamientos indeseados en la curvatura de la sonrisa, la interpolación no se realiza directamente sobre la volatilidad implícita, sino sobre la varianza total, definida como:

$$\theta(K, T) = \sigma^2(K, T) (T - t) \quad (11)$$

donde t denota la fecha de valuación y T el vencimiento de la opción. Esta transformación permite trabajar con una magnitud más regular y menos sensible a pequeñas perturbaciones en los datos de entrada, facilitando la obtención de una sonrisa suave y estable en el eje del precio de ejercicio.

Sea $\{(K_i, \theta_i)\}_{i=1}^n$ el conjunto de varianzas totales asociadas a los strikes observados, ordenados de forma creciente $K_1 < K_2 < \dots < K_n$. Para un precio de ejercicio K tal que $K \in [K_i, K_{i+1}]$, la varianza total interpolada se define mediante interpolación lineal por tramos en el eje del precio de ejercicio:

$$\theta(K, T) = \frac{K_{i+1} - K}{K_{i+1} - K_i} \theta(K_i, T) + \frac{K - K_i}{K_{i+1} - K_i} \theta(K_{i+1}, T) \quad (12)$$

Este esquema garantiza la reproducción exacta de las cotizaciones observadas y una transición continua de la varianza total entre strikes adyacentes.

Fuera del rango de precios de ejercicio observados, la extrapolación de la varianza total se realiza mediante reglas simples y estables, tales como mantener constante la varianza total en los extremos o utilizar extrapolación lineal basada en los puntos más cercanos, con el objetivo de evitar comportamientos extremos de la volatilidad implícita en las colas.

Una vez construida la función continua de varianza total $\theta(K, T)$, la volatilidad implícita correspondiente se recupera de manera directa mediante la relación:

$$\sigma(K, T) = \sqrt{\frac{\theta(K, T)}{T - t}} \quad (13)$$

El resultado de este procedimiento es una representación continua de la sonrisa de volatilidad en el espacio de precio de ejercicio para cada vencimiento adecuada para su uso en procesos de valuación y gestión de riesgos. Esta representación constituye el insumo directo para la interpolación posterior en el eje temporal y el ensamblaje de la superficie de volatilidad completa, descritos en la siguiente sección.

Interpolación en el eje temporal y ensamble de la superficie de volatilidad

La construcción descrita en la sección anterior permite disponer, para cada vencimiento observado T_j , de una representación continua de la sonrisa de volatilidad en el espacio de precio de ejercicio, expresada en términos de varianza total $\theta(K, T_j)$. A partir de este conjunto de sonrisas por vencimiento, el objetivo de la presente sección es extender dicha representación al eje temporal, con el fin de obtener una superficie de volatilidad implícita continua en ambas dimensiones.

Sea $\{T_j\}_{j=1}^m$ el conjunto de vencimientos para los cuales se ha construido la función $\theta(K, T_j)$. Para un precio de ejercicio fijo K , la interpolación en el eje temporal se realiza directamente sobre la varianza total, aprovechando su carácter acumulativo y su comportamiento más regular en función del tiempo. En particular, para un vencimiento intermedio $T \in [T_j, T_{j+1}]$, la varianza total se define mediante interpolación lineal en el tiempo como:

$$\theta(K, T) = \frac{T_{j+1} - T}{T_{j+1} - T_j} \theta(K, T_j) + \frac{T - T_j}{T_{j+1} - T_j} \theta(K, T_{j+1}) \quad (14)$$

Este esquema asegura una transición temporal suave y coherente de la varianza total para cada nivel de precio de ejercicio, preservando la consistencia de la estructura temporal de la volatilidad implícita y reduciendo la probabilidad de introducir arbitraje de calendario entre vencimientos adyacentes.

A partir de la varianza total interpolada en el eje temporal, la volatilidad implícita correspondiente para cada par (K, T) se obtiene de manera consistente mediante:

$$\sigma(K, T) = \sqrt{\frac{\theta(K, T)}{T - t}}$$

La aplicación conjunta de la interpolación en el eje del precio de ejercicio y en el eje temporal permite construir una superficie de volatilidad implícita continua, definida como función del precio de ejercicio y del tiempo al vencimiento:

$$\sigma = \sigma(K, T)$$

Esta superficie reproduce exactamente las cotizaciones de mercado en los vencimientos observados y proporciona una interpolación consistente para vencimientos intermedios, constituyendo el insumo final

para la valuación de opciones FX, el cálculo de sensibilidades y la medición de riesgos. El resultado del procedimiento descrito en esta sección completa la metodología de construcción de la superficie de volatilidad FX.

CASO PRACTICO

Se considera un caso ilustrativo para el par USD/MXN en una fecha de valuación t . El objetivo es construir una superficie de volatilidad $\sigma(K, T)$ a partir de cotizaciones estándar de mercado (ATM, RR, BF) y evaluar su consistencia para valuación y riesgo.

Spot: $S_t = 17.00$

Vencimientos considerados: $T \in \{1M, 3M, 6M\}$

Se asume que se dispone de curvas de tasas doméstica y extranjera, $r_d(T)$ y $r_f(T)$, consistentes con el mercado. Con ellas se define el forward:

$$F(t, T) = S_t e^{(r_d(T) - r_f(T))T - t}$$

Para cada vencimiento T , se observan:

- $\sigma_{ATM}(T)$: volatilidad ATM (convención ATM-forward)
- $RR_{25}(T)$: risk reversal 25 Δ
- $BF_{25}(T)$: butterfly 25 Δ (market butterfly)

Se adopta el siguiente set representativo:

| T | $\sigma_{ATM}(T)$ | $RR_{25}(T)$ | $BF_{25}(T)$ |
|----|-------------------|--------------|--------------|
| 1M | 12.5% | 1.2% | 0.4% |
| 3M | 13.0% | 1.0% | 0.5% |
| 6M | 13.8% | 0.8% | 0.6% |

Recordando las definiciones:

$$RR_{\Delta}(T) = \sigma_{call, \Delta}(T) - \sigma_{put, \Delta}(T)$$

$$BF_{\Delta}(T) = \frac{1}{2} (\sigma_{call, \Delta}(T) + \sigma_{put, \Delta}(T)) - \sigma_{ATM}(T)$$

Con estos insumos, en el siguiente paso se reconstruyen $\sigma_{call, 25}(T)$ y $\sigma_{put, 25}(T)$ para cada vencimiento, lo cual define la sonrisa en espacio de delta y habilita la conversión posterior a strikes K .

Con base en las definiciones adoptadas en la sección anterior, para cada vencimiento T y nivel de delta $\Delta = 25$, las volatilidades implícitas asociadas a una opción call y una opción put se reconstruyen directamente a partir de las cotizaciones $\sigma_{ATM}(T)$, $RR_{25}(T)$ y $BF_{25}(T)$ mediante:

$$\sigma_{call, 25}(T) = \sigma_{ATM}(T) + BF_{25}(T) + \frac{1}{2} RR_{25}(T)$$

$$\sigma_{put, 25}(T) = \sigma_{ATM}(T) + BF_{25}(T) - \frac{1}{2} RR_{25}(T)$$

Aplicando estas expresiones al conjunto de cotizaciones, se obtienen las siguientes volatilidades reconstruidas:

| T | $\sigma_{ATM}(T)$ | $RR_{25}(T)$ | $BF_{25}(T)$ | $\sigma_{call,25}(T)$ | $\sigma_{put,25}(T)$ |
|----|-------------------|--------------|--------------|-----------------------|----------------------|
| 1M | 12.5% | 1.2% | 0.4% | 13.5% | 12.3% |
| 3M | 13.0% | 1.0% | 0.5% | 14.0% | 13.0% |
| 6M | 13.8% | 0.8% | 0.6% | 14.8% | 14.0% |

Estas volatilidades representan, para cada vencimiento, el nivel implícito de volatilidad correspondiente a opciones call y put con delta 25 Δ , y junto con $\sigma_{ATM}(T)$ constituyen un conjunto discreto de puntos que caracteriza la sonrisa de volatilidad en espacio de delta.

Los valores positivos de $RR_{25}(T)$ implican $\sigma_{call,25}(T) > \sigma_{put,25}(T)$, lo cual es consistente con una estructura de sesgo en la que el mercado asigna una volatilidad implícita relativamente mayor a escenarios asociados a apreciación del USD frente al MXN. La $BF_{25}(T)$ positiva introduce curvatura adicional alrededor del nivel ATM.

En el paso anterior se reconstruyeron, para cada vencimiento T , las volatilidades implícitas $\sigma_{call,25}(T)$ y $\sigma_{put,25}(T)$, las cuales caracterizan la sonrisa en espacio de delta. Sin embargo, la superficie de volatilidad se define como $\sigma(K, T)$; por lo tanto, es necesario convertir cada punto expresado en términos de delta a su precio de ejercicio correspondiente.

Una vez obtenidos los precios de ejercicio asociados a cada nivel de delta reconstruido, el conjunto de pares (K_i, σ_i) para cada vencimiento T define una discretización de la sonrisa de volatilidad en el espacio de precio de ejercicio, incorporando el nivel ATM y los strikes correspondientes a opciones call y put con delta 25.

Para cada vencimiento considerado, la sonrisa de volatilidad se construye interpolando sobre la varianza total $\theta(K, T)$ en el eje del precio de ejercicio, de manera que la función resultante reproduzca exactamente las volatilidades implícitas observadas y preserve suavidad y estabilidad numérica entre nodos adyacentes. Este procedimiento permite obtener, para cada vencimiento, una representación continua $\sigma(K | T)$ consistente con las cotizaciones de mercado.

A partir de las sonrisas construidas por vencimiento, la interpolación en el eje temporal se realiza sobre la varianza total para cada precio de ejercicio fijo, utilizando esquemas estándar de interpolación lineal en el tiempo. Como resultado, se obtiene una superficie de volatilidad implícita continua $\sigma(K, T)$, definida para cualquier par (K, T) dentro del dominio de interés.

Esta superficie reproduce las cotizaciones observadas en los vencimientos originales y proporciona valores interpolados consistentes para vencimientos y precios de ejercicio intermedios, completando así el proceso de construcción de la superficie de volatilidad FX a partir de cotizaciones estándar de mercado, cuya estructura general se ilustra de manera esquemática en la Figura 1.

APLICACIONES

La superficie de volatilidad FX constituye un insumo central en diversos procesos analíticos y operativos dentro de una institución financiera. Al proporcionar una representación consistente de la volatilidad implícita como función del precio de ejercicio y del tiempo al vencimiento, la superficie permite capturar de manera adecuada las características observadas en el mercado de opciones de tipo de cambio.

- **Valuación de instrumentos derivados:** La superficie de volatilidad permite la valuación consistente de opciones FX *vanilla* para combinaciones arbitrarias de precio de ejercicio y vencimiento, incorporando de forma explícita la sonrisa y el sesgo implícitos del mercado.
- **Medición y gestión de riesgos:** Una representación continua de la superficie es esencial para el cálculo estable de sensibilidades de segundo orden, como vega, vanna y volga. Asimismo, facilita el análisis de escenarios bajo movimientos no paralelos de la volatilidad.
- **Consistencia en *pricing* y métricas internas:** Desde una perspectiva institucional, el uso de una superficie única y coherente de volatilidad asegura consistencia entre precios, sensibilidades y métricas de riesgo reportadas por distintas áreas.
- **Análisis de mercado e interpretación de expectativas:** La forma y evolución temporal de la superficie de volatilidad contienen información relevante sobre las expectativas implícitas del mercado respecto a la dinámica futura del tipo de cambio y la percepción de riesgo.

SUPUESTOS Y LIMITANTES

La construcción y utilización de superficies de volatilidad FX se basa en una serie de supuestos que, si bien son consistentes con la práctica de mercado, introducen ciertas limitaciones que deben ser consideradas al interpretar los resultados obtenidos.

- **Supuestos de mercado y de modelo:** Se asume que las cotizaciones ATM, RR y BF son representativas del mercado y que la valuación se realiza bajo el marco de Black-Scholes ajustado para FX.
- **Dependencia de liquidez y calidad de datos:** La calidad de la superficie depende de la liquidez y consistencia de las cotizaciones; en mercados poco líquidos, el ruido puede afectar la estabilidad del resultado.
- **Limitaciones asociadas a la interpolación:** Los esquemas de interpolación tanto en el eje del precio de ejercicio como del eje temporal priorizan suavidad y estabilidad, sin garantizar estrictamente la ausencia de arbitraje en todo el dominio.
- **Validez bajo condiciones normales de mercado:** El enfoque está diseñado para condiciones normales de mercado. En episodios de estrés abruptos, la superficie de volatilidad construida puede no reflejar plenamente la dinámica real del mercado.

CONCLUSIONES

La superficie de volatilidad FX es un insumo clave para la valuación consistente de opciones de tipo de cambio y para la medición adecuada de sus riesgos. A partir de cotizaciones estándar de mercado (ATM, *Risk Reversals* y *Butterflies*) es posible reconstruir de manera estructurada una representación continua de la volatilidad implícita como función del precio de ejercicio y del tiempo al vencimiento, capturando de forma explícita la sonrisa y el sesgo observados en el mercado.

Un proceso de construcción riguroso, alineado con las convenciones del mercado FX y sustentado en prácticas de interpolación estables, permite asegurar coherencia entre precios, sensibilidades y métricas de riesgo dentro de la institución. En este sentido, la adecuada implementación y gobernanza de la superficie de volatilidad resulta fundamental para fortalecer los procesos de pricing, gestión de riesgos y

análisis de mercado, así como para una interpretación consistente de las expectativas implícitas del mercado cambiario.

NOTAS Y REFERENCIAS

- Jewitt, Giles. FX Derivatives Trader School. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2015
- Reiswich, Daniel, and Uwe Wystup. FX Volatility Smile Construction. Frankfurt School of Finance & Management, 2010

