ComDer contraparte central S.A.

junio 2021

Metodología de construcción de curvas de ComDer

Introducción

En enero 2021 se juntaron los principales bancos de la plaza, en conjunto con ComDer, para conformar una mesa técnica de trabajo para discutir y facilitar la transición del fin del índice de referencia LIBOR, y empezar a incorporar el índice de referencia libre de riesgo SOFR tanto en la originación de productos nuevos como en la curva de descuento utilizado en la valorización de productos nuevos y existentes.

Los reguladores internacionales ya tomaron la desición de que a fines del año 2021 se van a dejar de publicar las tasas LIBOR de todas las monedas excepto en USD, la cual se dejará de publicar en su totalidad en junio 2023. En consecuencia, los reguladores internacionales han pedido a los actores del mercado no tomar más riesgo LIBOR después del año 2021, esto es, no seguir originando ni transando nuevos productos que incluyan pagos en base a una tasa de referencia Libor.

El fin de la tasa libor tiene importantes consecuencias en el mercado Chileno. En particular el instrumento derivado más afectado en el mercado interbancario es el Cross Currency Basis Swap (CCBS) LIBOR 6M/ Cámara (ICP), el cual se va a dejar de operar en el mercado durante este año, y por lo tanto la industria financiera se tiene que poner de acuerdo en el instrumento finnciero derivado que va a remplazar el actual CCBS.

La mesa de trabajo ya ha llegado a un acuerdo preliminar de los términos y condiciones que debiera tener el instrumento derivado que va a reemplazar al actual CCBS ICP-LIBOR 6M. En líneas gruesas, el nuevo producto swap va a ser un intercambio entre el indice variable en pesos, denominado Índice Cámara Promedio o ICP, y el Índice Variable en dólares que se deriva de las tasa Repo a un día y se denomina índice SOFR. Este producto se va a denominar CCBS ICP-SOFR, y ComDer va a implementar la liquidación de este producto en la Cámara. La especificación completa de este producto se encuentra en el capítulo 1.

Este documento tiene como principal objetivo documentar y explicar la metodología de generación de curvas desarrollada por ComDer para la valorización y pricing del nuevo producto CCBS ICP − SOFR en la Cámara, utilizando una remuneración del pago del Mark to Market igual a la tasa SOFR, y que cuando el pago se haga en pesos, se utilize la tasa derivada de los productos forward de monedas, obteniendo así una remuneración equivalente a la SOFR pero en pesos (este concepto se denomina Softdolarización). La Softdolarización permite valorizar instrumentos que tienen flujos en pesos como si estuviesen colateralizados en dólares remunerados a tasa SOFR aún cuando en la práctica son liquidados en pesos.

Para efectos de este documento, se usa como supuesto la remuneración a tasa SOFR para todos los subyacentes involucrados como también una interpolación lineal de los factores de descuento.

La idea es que este documento sirva de guía, y de entendimiento común, de como estimar el nuevo basis Cámara-SOFR, y facilitar de esta forma transición desde el producto CCBS ICP − LIBOR 6M al producto CCBS ICP − SOFR.

El documento se desarrolla en 9 capítulos, en los cuales se detalla la construcción del producto ICP-SOFR y las curvas de valorización utilizadas para tal efecto. A continuación los capitulos de este documento:

1. Introducción al producto CCBS ICP-SOFR.
2. Construcción de la curva cero SOFR.
3. Construcción de la curva cero LIBOR 3M.
4. Construcción de la curva basis LIBOR 6M.
5. Construcción de la curva basis CLP SOFR.
6. Construcción de la curva cero ICP.
7. Pricing del Cross Currency Basis Swap ICP-SOFR.
8. Remuneración del margen de variación en ComDer bajo softdolarización.
9. Conclusión.

Índice de Contenidos

1. Introducción al producto CCBS ICP-SOFR

En esta sección se introduce el term sheet consensuado por la plaza a la fecha para el producto derivado que reemplazará a actual CCBS ICP-LIBOR 6M. Como se explicó en la introducción, el fin de la LIBOR afecta en gran medida a las transacciones interbancarias en Chile y principalmente al actual currency basis. Debido a que este producto se dejará de transar y a las implicancias en la cobertura de créditos entre otras cosas se desarrolló el producto CCBS ICP-SOFR en ComDer con el fin de facilitar la transición hacia SOFR a través de la liquidación de este producto en la cámara.

1.1. Especificación del Term Sheet

A continuación, se detalla el term sheet a la fecha:

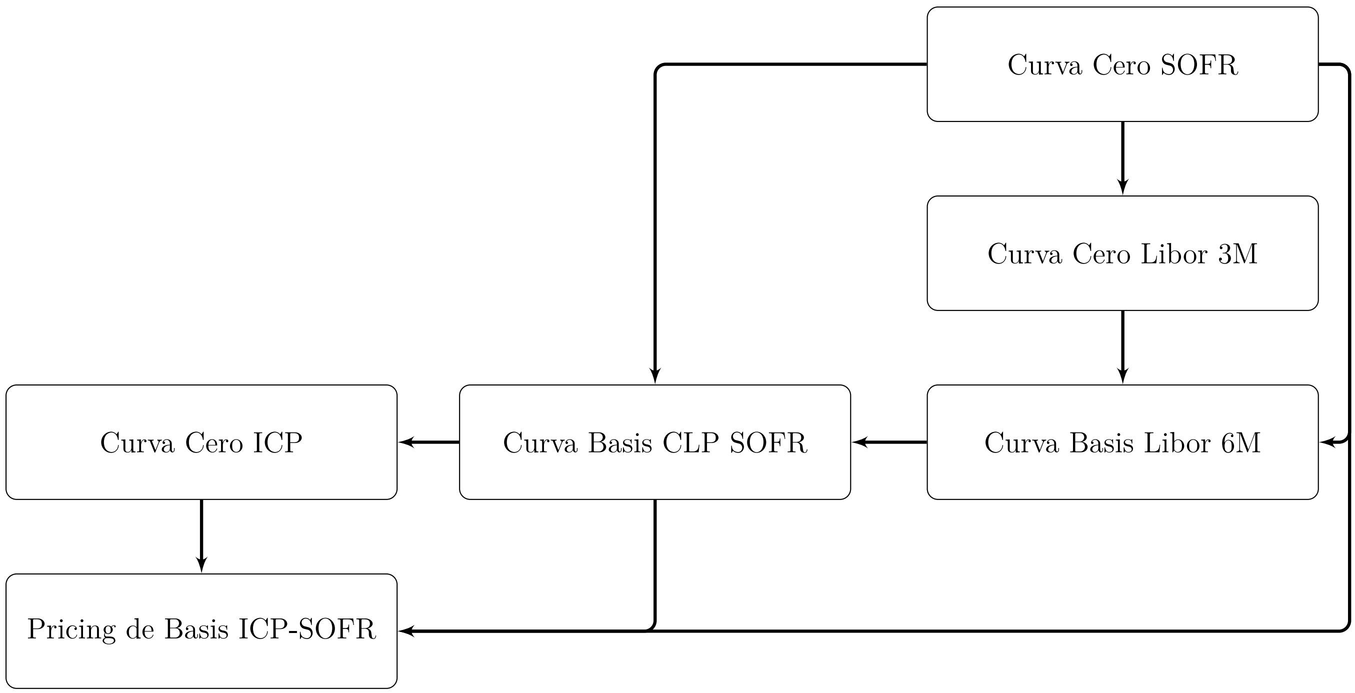
- **Inicio del swap/ Start date :** t+2
- **Frecuencia de pago:** Semi anual ambas piernas.
- **Date Roll:** Modified Following.
- **Pay delay:** 2 días.
- **Convención de la tasa:** Act/360.
- **Spread de negociación del basis:** En pierna CLP.
- **Formato de liquidación:** Non delivery Dólar Observado.
- **Moneda de liquidación:** Pesos.
- **Tasa de remuneración:** SOFR o SOFR equivalente en Pesos.

1.2. Resumen y consideraciones

En términos simples el cross currency basis swap consiste en el intercambio de flujos flotantes en 2 monedas los cuales se proyectan al índice cámara promedio más un basis (CLP) y al índice SOFR (USD). El inicio del swap ocurre 2 días hábiles posteriores al día de transacción, la frecuencia de pago de ambas piernas es semestral usando como fecha final de devengo para cada cupón la fecha exacta a los 6 meses desde el inicio de devengo del cupón. El date roll Mod Follow significa que, si cae feriado el día final de devengo se corre 1 día hábil hacia el futuro excepto en el caso de que ese día sea de un mes diferente, en ese caso se corre 1 día hábil hacia el pasado. La convención de tasas asume años de 360 días y finalmente el margen de variación se remunera a la tasa SOFR equivalente en pesos para la liquidación en pesos. Esto se detallará en el capítulo de remuneración.

Una nota importe es el cambio de pierna del spread. Normalmente, la regla general internacional es que el basis sea cotizado en la pierna no dólar. Sin embargo, en el caso chileno no es así por lo que el CCBS ICP-LIBOR se cotiza con el spread en la pierna dólar. Cambiando el basis de pierna hacia la pierna no dólar se logra homologar la convención a las mejores prácticas internacionales como también simplificar el pricing de este derivado ya que la pierna dólar al ser proyectada y descontada con la curva cero SOFR será PAR.

A continuación, se muestra la dependencias de curvas necesarias para obtener los precios sintéticos de este nuevo producto, de tal modo como se desarrolla el documento:



2. Construcción de la curva cero - Secured Overnight Financing Rate (SOFR)

En esta sección se explica la generación de la curva cero SOFR calculando los factores de descuentos asociados mediante el principio de no arbitraje simulando un swap subyacente.

Primero se explicará el trasfondo de la teoría para posteriormente mostrar y explicar los resultados. Esta curva requiere como insumos primeramente el día inicial (en nuestro caso 26 de enero de 2021) en donde después de dos días hábiles comenzará el swap, los días feriados del calendario de New York y también las tasas pares asociadas las cuales se obtuvieron directamente desde Bloomberg.

2.1. Características de los subyacentes

A continuación, se detallan las características de los subyacentes de la curva:

- **Tipo de subyacentes :** IRS Fijo-Flotante.
- **Índice de proyección:** SOFR.
- **Inicio del swap/ Start date :** t+2.
- **Frecuencia de pago:** Anual ambas piernas.
- **Date Roll:** Modified Following.
- **Convención de la tasa:** Act/360.
- **Tasa de remuneración:** SOFR.

2.2. Fuente de precio y estructura

A continuación, se presentan los precios y tenors obtenidos desde Bloomberg a las 13:30 horas para la curva SOFR:

Tabla 1: Precios y tickers SOFR.

Tenor	**Ticker**	**Yield** (%)
1D	SOFRRATE Index	0.06
1W	USOSFR1Z BGN Curncy	0.06
2W	USOSFR2Z BGN Curncy	0.05
3W	USOSFR3Z BGN Curncy	0.05
1M	USOSFRA BGN Curncy	0.05
2M	USOSFRB BGN Curncy	0.05
3M	USOSFRC BGN Curncy	0.05
4M	USOSFRD BGN Curncy	0.05
5M	USOSFRE BGN Curncy	0.05
6M	USOSFRF BGN Curncy	0.05
7M	USOSFRG BGN Curncy	0.05
8M	USOSFRH BGN Curncy	0.05
9M	USOSFRI BGN Curncy	0.05
10M	USOSFRJ BGN Curncy	0.05
11M	USOSFRK BGN Curncy	0.05
1Y	USOSFR1 BGN Curncy	0.06
2Y	USOSFR2 BGN Curncy	0.06
3Y	USOSFR3 BGN Curncy	0.11
4Y	USOSFR4 BGN Curncy	0.19
5Y	USOSFR5 BGN Curncy	0.31
6Y	USOSFR6 BGN Curncy	0.44
7Y	USOSFR7 BGN Curncy	0.56
8Y	USOSFR8 BGN Curncy	0.67
9Y	USOSFR9 BGN Curncy	0.76
10Y	USOSFR10 BGN Curncy	0.84
12Y	USOSFR12 BGN Curncy	0.98
15Y	USOSFR15 BGN Curncy	1.11
20Y	USOSFR20 BGN Curncy	1.23

2.3. Curva cero hasta 1 año

Es importante mencionar que este swap tiene pagos anuales y no contiene un precio para TON y por lo mismo el factor de descuento de dos días se obtendrá interpolando linealmente el factor de descuento de 1 día con el de 1 semana mediante la fórmula:

$$FD[2\ días] = \lambda FD[1\ W] + (1-\lambda)FD[1\ días],$$

donde λ es el factor de interpolación. Sin embargo, para encontrar el factor de descuento de 1 semana, es necesario conocer el factor de descuento de 2 días ya que el swap parte en t+2, relacionados por la fórmula:

$$FD[1\ W] = \frac{FD[2\ días]}{1 + SOFR['1W'] \cdot \frac{\Delta t}{360}},$$

donde $\Delta t =$ días entre $t+2+1W$ y $t+2$. Reemplazando la segunda ecuación en la primera:

$$FD[2\ días] = \frac{\lambda}{(1 + SOFR['1W'] \cdot \frac{\Delta t}{360})} FD[2\ días] + (1-\lambda)FD[1\ días],$$

y así:

$$FD[2\ días] = \frac{1-\lambda}{1 - \frac{\lambda}{(1+SOFR['1W'] \cdot \frac{\Delta t}{360})}} \cdot FD[1\ días],$$

Pudiendo con esto encontrar el factor de descuento a 2 días. De esta manera los demás factores de descuento se encuentran con la fórmula de interés simple:

$$DF = \frac{DF_{2\text{días}}}{1 + R \cdot \frac{\Delta t \text{ días}}{360}}.$$

A continuación, se presenta una tabla con los resultados en este caso para el 26 de enero de 2021.

Tabla 2: Factores de descuento hasta 1 año.

Tenors	Fechas	Factores de descuento	Tasas Cero
1D	2021-01-27	0.99999833	0.06
2D	2021-01-28	0.99999667	0.06
1W	2021-02-04	0.99998500	0.06
2W	2021-02-11	0.99997722	0.05
3W	2021-02-18	0.99996750	0.05
1M	2021-02-26	0.99995639	0.05
2M	2021-03-29	0.99991334	0.05
3M	2021-04-28	0.99987168	0.05
4M	2021-05-28	0.99983003	0.05
5M	2021-06-28	0.99978699	0.05
6M	2021-07-28	0.99974534	0.05
7M	2021-08-30	0.99969953	0.05
8M	2021-09-28	0.99965928	0.05
9M	2021-10-28	0.99961765	0.05
10M	2021-11-29	0.99957324	0.05
11M	2021-12-28	0.99953299	0.05
1Y	2022-01-28	0.99938871	0.06

2.4. Curva cero hasta 10 años

De 2 años hasta 10 años se utiliza el método de Bootstrapping general, en donde se resuelve la equivalencia de los valores presentes de ambas piernas de los subyacentes bajo el principio de no arbitraje mediante la siguiente ecuación:

$$(Rate \cdot \Delta t_1) \cdot FD_1 + ... + (Rate \cdot \Delta t_{n-1}) \cdot FD_{n-1} + (1 + Rate \cdot \Delta t_n) \cdot FD_n = 1, \tag{1}$$

Dado a que los subyacentes tienen pagos anuales y ya se resolvió la curva hasta el año, solo queda por resolver 1 incognita por tenor. Dicho de otra manera, en determinado momento del proceso, se conocen los primeros factores de descuento y se desconocen los últimos.

En el caso que el único desconocido sea el n-ésimo, la ecuación anterior se despeja como sigue:

$$FD_n = \frac{1 - \sum_{i=1}^{n-1} (Rate \cdot \Delta t_i) \cdot FD_i}{(1 + Rate \cdot \Delta t_n)}. \tag{2}$$

Como los pagos son anuales y ya conocemos el factor de descuento para un año, el bootstrap hasta 10 años consistirá solamente en la fórmula 2.

A continuación, se presenta una tabla con los resultados en el caso que el día cero es el 26 de enero de 2021.

Tabla 3: Factores de descuento hasta 10 años.

Tenor	**Fechas**	**Factores de descuento**	**Tasas Cero**
2Y	2023-01-30	0.99877779	0.06
3Y	2024-01-29	0.99665355	0.11
4Y	2025-01-28	0.99231062	0.19
5Y	2026-01-28	0.98436237	0.31
6Y	2027-01-28	0.97346332	0.44
7Y	2028-01-28	0.96077191	0.56
8Y	2029-01-29	0.94660149	0.68
9Y	2030-01-28	0.93226507	0.77
10Y	2031-01-28	0.91732289	0.85

2.5. Curva cero hasta 20 años

El proceso anterior sirve hasta 10 años, sin embargo, entre 10 y 20 años solo existe información para 12, 15 y 20 años, de manera es necesario generalizar el modelo anterior. Bajo el supuesto que n es el número de años donde ya se conocen los factores de descuento y que no se conocen las tasas par de los próximos m años, pero que si la tasa del año $(n+m+1)-$ésimo año.

Para conocer los $m+1$ factores de descuento desconocidos, la estrategia será similar al caso $m=1$ visto anteriormente. Primero, se puede plantear la fórmula de no arbitraje hasta el pago $n+1$-ésimo (transcurre un año):

$$\sum_{i=1}^{n+m}\left(Rate_{n+m+1}\cdot\frac{\Delta t_i}{360}\right)Z_i+\left(1+Rate_{n+m+1}\cdot\frac{\Delta t_{n+m+1}}{360}\right)Z_{n+m+1}=1, \tag{3}$$

donde

- Δt_x es el periodo de tiempo transcurrido entre el pago en $X-12$ y X meses $(=t_x-t_{x-12})$.
- $Rate_{(n+1)}$ es la tasa swap SOFR (obtenida de Bloomberg) para a (n+1) años.
- Z_x es el factor de descuento en x meses.

Notar que ahora las incógnitas son $Z_{n+1},...,Z_{n+m+1}$, para tener m ecuaciones adicionales (y así poder despejar el sistema) será necesario interpolar. Se realizará algo parecido a lo anterior, pero esta vez m veces: $\forall j\in[m]$ interpolaremos Z_{n+j} usando Z_n y Z_{n+m+1}:

$$Z_{n+j}=Z_{n+m+1}\lambda_j+Z_n(1-\lambda_j),$$

en donde $\lambda_j=\frac{t_{n+j}-t_n}{t_{n+m+1}-t_n}, j\in[0,1]$ es el factor de interpolación. De esta manera se tiene $m+1$ ecuaciones y $m+1$ incógnitas, con lo cual se puede llegar al siguiente sistema lineal:

$$\begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1,m+1}\\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2,m+1}\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ A_{m+1,1} & A_{m+1,2} & \cdots & A_{m+1,m+1}\end{pmatrix}\begin{pmatrix} Z_{n+1}\\ \vdots \\ Z_{n+m+1}\end{pmatrix}=\begin{pmatrix} b_1\\ \vdots\\ b_{m+1}\end{pmatrix},$$

donde:

- $b_1=1-\sum_{i=1}^{n}\left(Rate_{n+m+1}\cdot\frac{\Delta t_i}{360}\right)Z_i,$

- $b_j = Z_n(1 - \lambda_j)\ \forall j \geq 2$,

y

- $A_{1,j} = \left(Rate_{n+m+1} \cdot \frac{\Delta t_{n+j}}{360}\right), \forall j \in [m]$,
- $A_{1,m+1} = \left(1 + Rate_{n+m+1} \cdot \frac{\Delta t_{n+j}}{360}\right)$,
- Para $i \geq 1$: $A_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{si } j = i-1 \\ -\lambda_{i-1} & \text{si } j = m+1 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$.

Si se llama $x := \begin{pmatrix} Z_{n+1} \\ \vdots \\ Z_{n+m+1} \end{pmatrix}$, el problema anterior se reduce a resolver el sistema lineal $Ax = b$. Se puede demostrar que la matriz A siempre será invertible, pero se omitirá por simplicidad. De esta manera:

$$Z_{n+j} = (A^{-1}b)_j \quad \forall j \in [m+1]$$

A continuación, se presenta una tabla con los resultados en el caso que el día cero es el 26 de enero de 2021.

Tabla 4: Factores de descuento hasta 10 años.

Tenors	**Fecha**	**Factores de descuento**	**Tasas Cero**
12Y	2033-01-28	0.88576076	1.00
15Y	2036-01-28	0.84169341	1.14
20Y	2041-01-28	0.77455356	1.27

2.6. Resultados del Bootstrap

Finalmente, graficamos la curva de descuento para el 26 de enero:

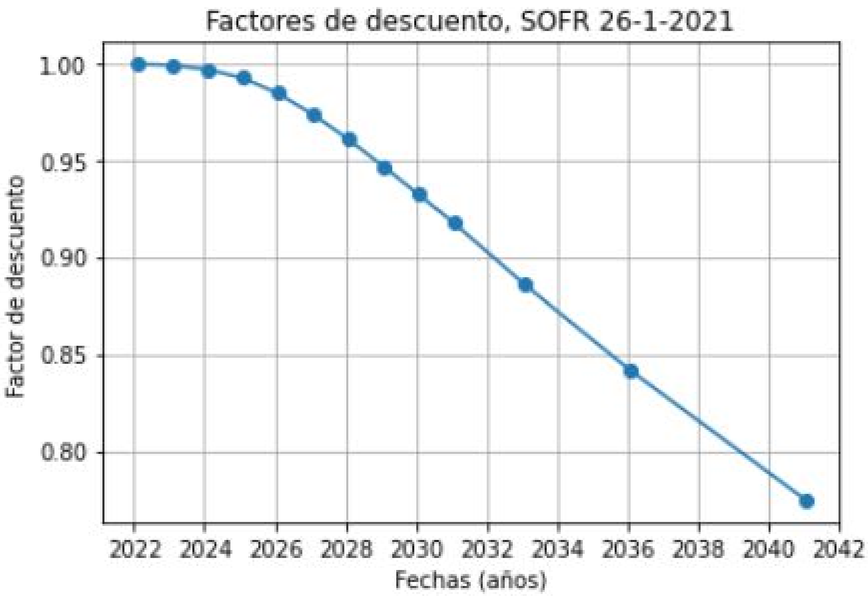


Figura 1: Factores de descuento SOFR.

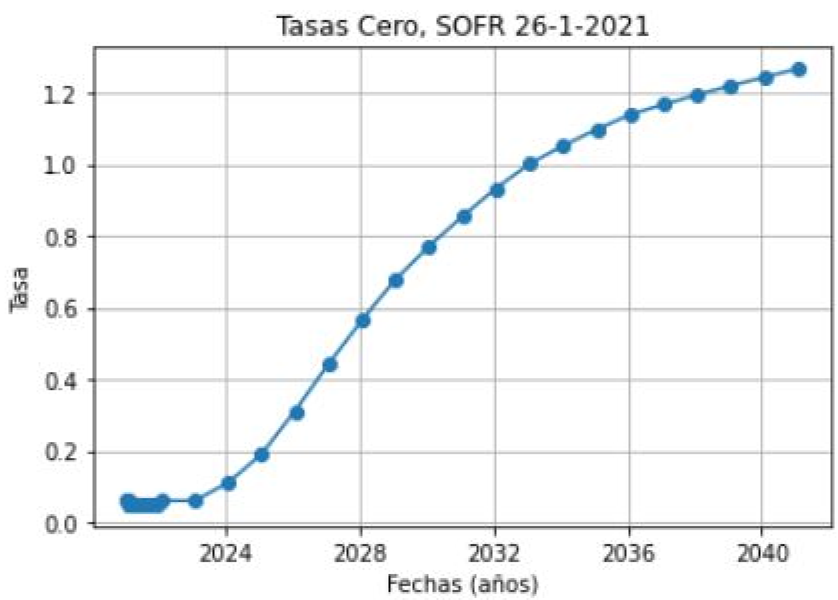


Figura 2: Tasas cero SOFR.

3. Construcción de la curva cero - Libor 3M

En esta sección se explica la generación de la curva cero LIBOR 3M calculando los factores de descuentos asociados a la proyección de este indice, mediante el principio de no arbitraje y metodologías de Dual Curve Bootstrapping. Al igual que en las otras curvas el Bootstrap se hace a través de la simulación un Swap, cuyas piernas se descontarán con la curva cero SOFR, y la pierna flotante se proyectará con la curva cero Libor 3M (desconocida). En este caso, la pierna flotante tiene pagos trimestrales mientras que los de la pierna fija serán semi anuales.

Esta curva requiere como insumos primeramente el día inicial, en este caso 26 de enero de 2021 en donde después de dos días hábiles comenzará el swap, los días feriados del calendario de New York - Londres, la curva cero SOFR y también las tasas pares asociadas, cuales se obtuvieron directamente desde Bloomberg. Adicionalmente, para la parte corta de la curva, es decir para plazos hasta 18 meses, se utilizan los futuros de eurodollar de CME.

3.1. Características de los subyacentes

A continuación, se detallan las características de los subyacentes de la curva:

- **Tipo de subyacentes :** IRS Fijo-Flotante.
- **Índice de proyección:** Libor 3 meses.
- **Inicio del swap/ Start date :** t+2.
- **Frecuencia de pago:** Semi anual pierna fija y trimestral pierna Flotante.
- **Date Roll:** Modified Following.
- **Convención de la tasa:** Fija 30I/360 y flotante Act/360.
- **Tasa de remuneración:** SOFR.

3.2. Fuente de precio y estructura

Dado al uso que se le da a la Libor 3M en el cálculo de la curva CLP SOFR (no se utilizarán todos los tenors de la curva ya que solo se usará desde 1 años en adelante y por lo mismo se usara el índice a 3 meses y posteriormente de 2 hasta 20 años.

A continuación, se presentan los precios y tenors obtenidos desde Bloomberg a las 13:30 horas para la curva meses:

Tabla 5: Cotizaciones de Swap Libor 3M.

Tenor	**Ticker**	**Yield** (%)
3M	US0003M Index	0.21
6M	EDH21 Comdty	0.18
9M	EDM1 Comdty	0.17
12M	EDU1 Comdty	0.18
15M	EDZ1 Comdty	0.21
18M	EDH2 Comdty	0.18
21M	EDM2 Comdty	0.19
2Y	USSWAP2 BGN Curncy	0.20
3Y	USSWAP3 BGN Curncy	0.26
4Y	USSWAP4 BGN Curncy	0.38
5Y	USSWAP5 BGN Curncy	0.51
6Y	USSW6 BGN Curncy	0.65
7Y	USSWAP7 BGN Curncy	0.78
8Y	USSW8 BGN Curncy	0.89
9Y	USSW9 BGN Curncy	0.99
10Y	USSWAP10 BGN Curncy	1.08
12Y	USSWAP12 BGN Curncy	1.22
15Y	USSWAP15 BGN Curncy	1.35
20Y	USSWAP20 BGN Curncy	1.48

3.3. Curva cero hasta 3 meses

Es importante mencionar que el inicio de la estructura contiene un Money Market de tres meses,futuros hasta 21 meses y las siguientes tasas pares son para los periodos de 2 años en adelante, con lo cual el factor de descuento de dos días se tiene que interpolar con el factor de descuento de 0 días y el de 3 meses mediante la fórmula:

$$FD_{2\ días} = 1 + (FD_{3M} - 1) \cdot \lambda$$

donde $\lambda = \frac{2\ días}{1\ Mes}$ es el factor de interpolación. Sin embargo, en este caso, el factor de descuento a un mes se obtiene usando el de dos días con la fórmula:

$$FD_{3\ Mes} = \frac{FD_{2\ días}}{(1 + MM \cdot \frac{3M}{360})}, \tag{4}$$

de manera que se llega a un sistema de ecuaciones. Resolviendo este sistema se llega a que:

$$FD_{2\ días} = \frac{1-\lambda}{1-\frac{\lambda}{1+MM\cdot\frac{3M}{360}}},$$

Pudiendo con esto encontrar el factor de descuento a 2 días. De esta manera se puede resolver el factor de descuento a 3 meses con la fórmula 4.

A continuación, se presenta una tabla con los resultados en el caso que el día cero es el 26 de enero de 2021.

Tabla 6: Factores de descuento hasta 3 meses.

Tenor	**Fechas**	**Factores de descuento**	**Tasas Cero**
0	2021-01-26	1.00000000	0.21
2d	2021-01-28	0.99998834	0.21
3M	2021-04-28	0.99946362	0.21

3.4. Curva cero hasta 20 años

Después de 3 meses el siguiente tenor donde se tiene información en este caso son los futuros de 6, 9, 12 , 15 , 18 y 21 meses es a 2 años, desde el cual conocemos las tasas pares hasta 10 años y luego la de los años 12, 15 y 20 años, de ahora en adelante nos enfrentaremos a un problema ligeramente más complejo, pues en las curvas anteriores se trabaja solo con la pierna fija, ahora necesitaremos trabajar con la pierna flotante también, lo cual provoca que el sistema sea no lineal, con lo cual se adopta una estrategia distinta. En primer lugar, se plantea el principio no arbitraje como sigue:

$$\underbrace{\sum_{i=1}^{2\cdot\text{años}} \Delta t_{6i}\cdot R_{años}\cdot DF_{6i}}_{\text{VP (pierna fija)}} = \underbrace{\sum_{i=1}^{4\cdot\text{años}} \Delta t_{3i}\cdot FW_{3i}\cdot DF_{3i},}_{\text{VP (pierna flotante)}} \tag{5}$$

en donde:

- Δt_{6i}: periodo de tiempo entre el pago $(i-1)$-ésimo y i-ésimo.
- $R_{años}$: Tasa (par) del año correspondiente.
- DF_{6i}: Factor de descuento (SOFR) para el pago i-ésimo de la pierna fija.
- DF_{3i}: Factor de descuento (SOFR) para el pago i-ésimo de la pierna flotante.
- FW_{3i}: Tasa forward para el pago i-ésimo con LIBOR 3M.

Se puede notar que en la ecuación 5 la pierna fija está totalmente conocida, de manera que la podemos encontrar numéricamente.

Un detalle importante es que solo se puede encontrar el valor de la pierna fija en tenors que tengan la tasa par asociada. Para encontrar los factores de descuento de la Libor 3M se usa la ecuación 5, pues en tal ecuación la única posible incógnita son las últimas tasas forward. Para encontrar las tasas forward en función de los factores de descuento, serán útiles las funciones de conversión de tasas simple mencionadas en anteriormente, las cuales corresponden a las siguientes fórmulas:

$$FWRate_{t_1,t_2} = \left(\frac{1}{FWD_{t_1,t_2}} - 1\right) \cdot \frac{360}{(t_2 - t_1)\ \text{dias}}, \tag{6}$$

$$FWD_{t_1,t_2} = \frac{FD_{t_2}}{FD_{t_1}}, \tag{7}$$

en donde $FWRate_{t_1,t_2}$ y FWD_{t_1,t_2} corresponden a la tasa forward y el factor de descuento forward en el periodo (t_1, t_2).

Como se puede notar, en la ecuación 5 pueden existir más de una incógnita dependiendo de cuantos factores de descuento se conocen, para resolver esto nuevamente se usa interpolación lineal para los factores de descuento desconocidos, usando el último conocido y el último desconocido con las fórmulas:

$$FD(t_0, t) = FD(t_0, t_1)\left(\frac{t_2 - t}{t_2 - t_1}\right) + FD(t_0, t_2)\left(\frac{t - t_1}{t_2 - t_1}\right)$$

De esta manera, la única incógnita en la ecuación 5 será el último factor de descuento. El sistema resultante es un sistema de ecuaciones no lineal, por ende, se debe recurrir a un motor de optimización como solver u otros. Para esto se define la función que entrega la diferencia entre ambas piernas, en función del último factor de descuento desconocido:

$$PVSwap(FD) = VP(\text{pierna fija}) - VP(\text{pierna flotante})(FD), \tag{8}$$

con lo cual encontrar tal factor de descuento que resuelve el sistema es equivalente a encontrar FD tal que $PVSwap(FD) = 0$.

A continuación, se presentan los resultados en el caso que el día cero es el 26 de enero de 2021.

Tabla 7: Factores de descuento hasta 20 años.

Tenor	**Fechas**	**Factores de descuento**	**Tasas Cero**
2Y	2023-01-30	0.99598665	0.20
3Y	2024-01-30	0.99220290	0.26
4Y	2025-01-28	0.98489735	0.37
5Y	2026-01-28	0.97477185	0.50
6Y	2027-01-28	0.96161069	0.64
7Y	2028-01-28	0.94656510	0.77
8Y	2029-01-30	0.93069265	0.89
9Y	2030-01-29	0.91389965	0.99
10Y	2031-01-28	0.89646221	1.08
12Y	2033-01-28	0.86183998	1.22
15Y	2036-01-29	0.81350562	1.36
20Y	2041-01-29	0.73873976	1.50

3.5. Resultados del Bootstrap

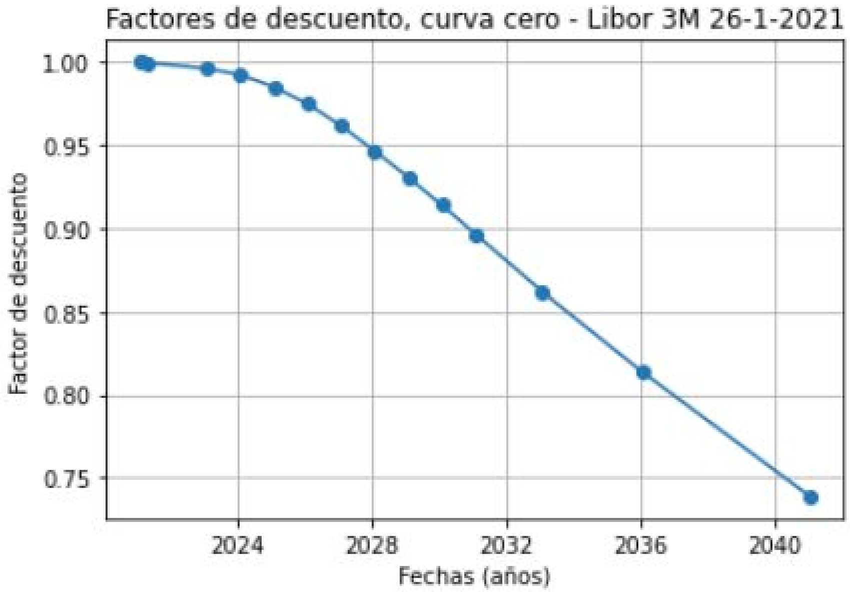


Figura 3: Factores de descuento Libor 3M.

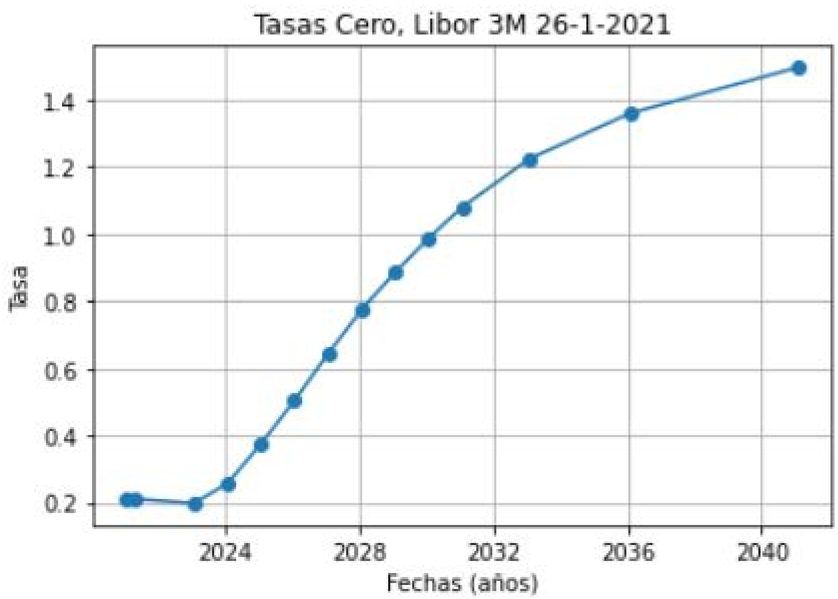


Figura 4: Tasas cero Libor 3M.

4. Construcción de la curva basis - Libor 6M

En esta sección se explica la generación de la curva basis Libor 6M que tiene como objetivo calcular los factores de descuento asociados, mediante un dual curve bootstrap simulando swaps flotante-flotante, cuya primera pierna se proyectará con la Libor 3M más un basis o spread mientras que la segunda pierna se proyectará con Libor 6M ambas descontadas con la curva cero SOFR. En este caso en la pierna de la Libor 3M los pagos serán semi anuales, pero con una composición trimestral, por el otro lado los pagos de la Libor 6M serán semi anuales.

Esta curva requiere como insumos el día inicial (en este caso 26 de enero de 2021), feriados del calendario de New York y Londres, las cotizaciones asociadas a los money markets de la Libor 3M y Libor 6M, el basis Libor 6M/Libor 3M y la curva cero SOFR.

4.1. Características de los subyacentes

A continuación, se detallan las características de los subyacentes de la curva:

- **Tipo de subyacentes :** Basis Flotante-Flotante.
- **Índice de proyección:** Libor 3 meses y Libor 6 meses.
- **Inicio del swap/ Start date :** t+2.
- **Frecuencia de pago:** Semi anual ambas piernas.
- **Date Roll:** Modified Following.
- **Convención de la tasa:** Act/360 ambas piernas.
- **Tasa de remuneración:** SOFR.

4.2. Fuente de precio y estructura

A continuación, se presentan las cotizaciones y estructura para esta curva:

Tabla 8: Cotizaciones del los MM Libor 3M y Libor 6M.

Tenor	Ticker	Yield
MM	US0003M Index	0.21
MM	US0006M Index	0.23

Tabla 9: Cotizaciones del basis Libor 6M/Libor 3M.

Tenor	Tickers	Basis en Bps
6M	USBCF BGN Curncy	4.13
1Y	USBC1 BGN Curncy	3.63
18M	USBC1F BGN Curncy	3.50
2Y	USBC2 BGN Curncy	3.55
3Y	USBC3 BGN Curncy	4.90
4Y	USBC4 BGN Curncy	7.19
5Y	USBC5 BGN Curncy	8.63
6Y	USBC6 BGN Curncy	9.56
7Y	USBC7 BGN Curncy	10.25
8Y	USBC8 BGN Curncy	10.88
9Y	USBC9 BGN Curncy	11.31
10Y	USBC10 BGN Curncy	11.69
12Y	USBC12 BGN Curncy	12.31
15Y	USBC15 BGN Curncy	12.88
20Y	USBC20 BGN Curncy	13.44

4.3. Curva basis hasta 20 años

En este caso para los tenors hasta 3 meses, los factores de descuento coinciden con los de la Libor 3M, por ende, se usa de igual manera. Después de 3 meses el siguiente tenor para el cual hay información es a 6 meses, con el cual se comienza el proceso de dual curve bootstrapp. En este caso, el principio de no arbitraje toma la siguiente forma:

$$\underbrace{\sum_{i=1}^{2\cdot\text{años}} DF_{3M,i} \cdot FC_i}_{\text{VP (Libor 3M)}} = \underbrace{\sum_{i=1}^{2\cdot\text{años}} DF_{6M,i} \cdot FW_i \cdot \Delta t_i \cdot Nocional}_{\text{VP (pierna Libor 6M)}}, \tag{9}$$

en donde:

- Δt_i: periodo de tiempo entre el pago $(i-1)$-ésimo y i-ésimo de la Libor 6M.
- $DF_{3M,i}$: Factor de descuento (SOFR) para el pago i-ésimo de la Libor 3M.
- $DF_{6M,i}$: Factor de descuento (SOFR) para el pago i-ésimo de la Libor 6M.

- FW_i: Tasa forward para el pago i-ésimo con LIBOR 6M.
- FC_i: Flujo de caja i-ésimo de la Libor 3M. Este se encuentra como sigue:
  i) Primero se compone la tasa para los primeros 3 meses usando el spread:
  $$Interest_1 = Nocional \cdot \Delta t_{3M} \cdot (FwdRate_{3M} + spread)$$
  ii) Luego, se debe tasar ese interés para los 3 meses restantes:
  $$Interest_{1,final} = Interest_1 \cdot (1 + \Delta t_{3M-6M} \cdot FwdRate_{3M-6M})$$
  iii) Adicionalmente, se tasa el nocional entre 3 y 6 meses:
  $$Interest_2 = Notional \cdot \Delta t_{3M-6M} \cdot (FwdRate_{3M-6M} + spread)$$
  iv) Finalmente:
  $$Flujo\ de\ Caja = Interest_{1,final} + Interest_2$$

Se puede notar que en la ecuación 9 la pierna asociada a la Libor 3M es totalmente conocida, de manera que la podemos encontrar numéricamente.

Para encontrar los factores de descuento de la Libor 6M se usa la ecuación 9, pues en tal ecuación la única posible incógnita son las últimas tasas forward. Para encontrar las tasas forward en función de los factores de descuento, se usa exactamente la misma estrategia que en la curva Libor 3M (esta estrategia será común para todas las curvas que siguen), de manera que se encuentran todas las tasas forward en función del factor de descuento desconocido asociado al último año de pago, mediante la interpolación de los demás factores de descuento desconocidos y las fórmulas de conversión de tasas a factores de descuento.

A continuación, se presentan los resultados en el caso que el día cero es el 26 de enero de 2021.

Tabla 10: Factores de descuento hasta 20 años.

Tenor	**Fechas**	**Factores de descuento**	**Tasas Cero**
2d	2021-01-28	0.99998833	0.21
3M	2021-04-28	0.99946362	0.21
6M	2021-07-28	0.99876354	0.24
1Y	2022-01-28	0.99760735	0.24
18M	2022-07-28	0.99646536	0.23
2Y	2023-01-30	0.99526859	0.23
3Y	2024-01-29	0.99073562	0.31
4Y	2025-01-29	0.98200653	0.45
5Y	2026-01-28	0.97051713	0.59
6Y	2027-01-28	0.95603406	0.74
7Y	2028-01-28	0.93970115	0.88
10Y	2031-01-29	0.88582009	1.20
12Y	2033-01-28	0.84897452	1.35
15Y	2036-01-30	0.79758869	1.49
20Y	2041-01-30	0.71868177	1.63

4.4. Resultados del Bootstrap

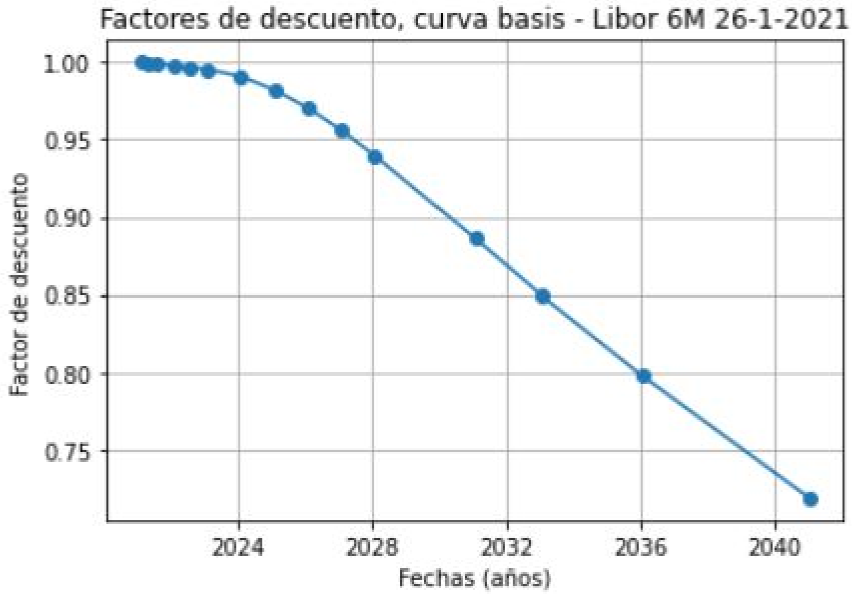


Figura 5: Factores de descuento Libor 6M.

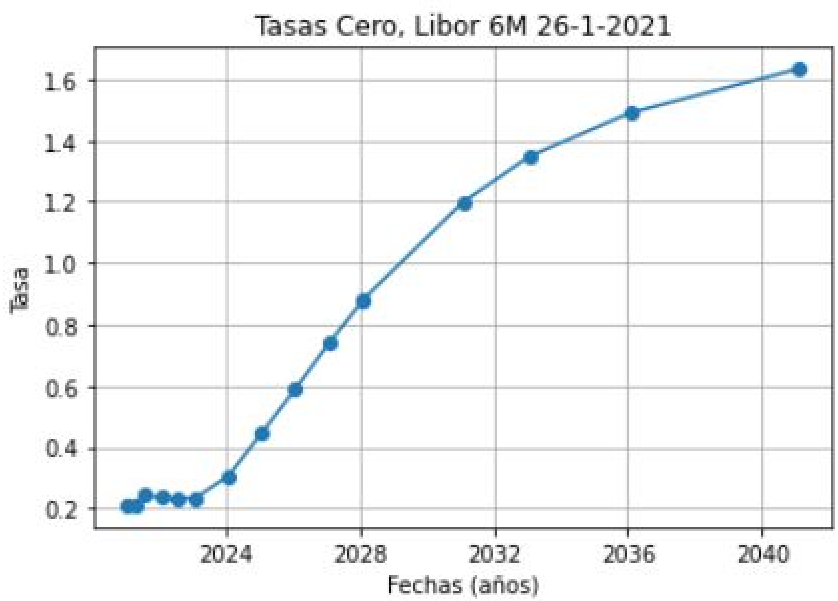


Figura 6: Tasas Cero Libor 6M.

17

5. Construcción de la curva basis - CLP SOFR

En esta sección se explica la generación de la curva basis CLP SOFR en donde se encuentran los factores de descuento para descontar flujos en pesos remunerados a SOFR mediante la construcción de un swap en donde la primera pierna será fija (Equivalente a los precios Fijos del SPC) y se descontará con el resultado de esta curva, mientras que por otro lado la segunda pierna se descontará con la curva cero SOFR y se proyectará con la Libor 6M más un basis. La ventaja de esta curva es que no se tendrá que proyectar y descontar a la vez, con lo cual la única incógnita es la curva de descuento para la pierna fija ICP. Ambas piernas tienen pagos semi anuales.

Esta curva requiere como insumos el día inicial (en este caso 26 de enero de 2021), las cotizaciones asociadas (TC USD/CLP, puntos forward, Precios Swap ICP y basis ICP-LIBOR 6M) y los feriados de los calendarios de New York, Londres y Santiago.

5.1. Características de los subyacentes

Para la curva resultante se necesitan 2 tipos de subyacente: En primer lugar los puntos forward del TC USD/CLP, lo cuales se obtienen a través de los brokers:

- **Tipo de subyacentes :** NDF.
- **Subyacente:** TC USD/CLP.
- **Tasa de remuneración:** SOFR.

En segundo lugar, los Cross Currency Basis Swap ICP-LIBOR 6M: Es importante notar que a pesar de que el subyacente es Flotante-Flotante, la simulación para el Bootstrapp será Fijo Flotante basados en el principio de no arbitraje dado que la pierna Fija de un SPC debe ser igual a la pierna flotante ya que se descuenta a una misma curva de descuento.

- **Tipo de subyacentes :** Basis Flotante-Flotante.
- **Índice de proyección:** Libor 6 meses e Índice Cámara Promedio (ICP).
- **Inicio del swap/ Start date :** t+2.
- **Frecuencia de pago:** Semi anual ambas piernas.
- **Date Roll:** Modified Following.
- **Convención de la tasa:** Act/360 ambas piernas.
- **Tasa de remuneración:** SOFR.

5.2. Fuente de precio y estructura

Para ambos subyacentes la fuente de precio será un promedio de los 3 principales brokers locales. A continuación, se presentan las cotizaciones para esta curva:

Tabla 11: Cotizaciones de FX FWD points).

Tenor	FX points
TC	732.25000
1M	-0.10057
2M	-0.12135
3M	-0.16667
4M	-0.20667
5M	-0.34708
6M	-0.49000
9M	-0.85000
1Y	-0.81333
18M	1.04000

Tabla 12: Cotizaciones del Basis ICP-Libor 6M (Basis).

Tenor	Basis
2Y	25.17
3Y	25.50
4Y	25.83
5Y	26.83
6Y	27.83
7Y	28.83
8Y	31.00
9Y	34.00
10Y	37.33
15Y	47.50
20Y	52.83

5.3. Curva basis hasta 18 meses

En este caso como se tienen los puntos forward hasta 18 meses, los factores de descuento de los primeros tenors se calcularán con las siguientes fórmulas:

$$FXDiscount = \frac{1 + R_{CLP} \cdot \frac{periodo}{360}}{1 + R_{USD} \cdot \frac{periodo}{360}} = \frac{FD_{USD}}{FD_{CLP}} \tag{10}$$

$$FXpoint = spot_{USD/CLP} \cdot FXDiscount - spot_{USD/CLP} \tag{11}$$

Despejando la tasa en pesos de las ecuaciones obtenemos que:

$$R_{CLP} = \left(\left(\frac{FXpoint + spot_{CLP/USD}}{spot_{CLP/USD}} \right) \cdot \left(1 + R_{USD} \cdot \frac{periodo}{360} \right) - 1 \right) \cdot \frac{360}{periodo},$$

o equivalentemente para el factor de descuento:

$$FD_{CLP} = \frac{FD_{USD}}{\left(\frac{FXpoint + spot_{CLP/USD}}{spot_{CLP/USD}} \right)},$$

Dado que el Spot es t + 1 y por lo tanto los FWD comienzan un día hábil después del día cero es necesario encontrar el factor de descuento en dicha fecha. Para esto se interpolará usando el factor de descuento hoy (1) y el de un mes:

$$FD_{1d} = FD_{0d} + (FD_{1M} - FD_{0d}) \cdot \frac{t_{1d} - t_{0d}}{t_{1M} - t_{0d}} = 1 + (FD_{1M} - 1) \cdot \frac{t_{1d} - t_{0d}}{t_{1M} - t_{0d}},$$

Sin embargo, para encontrar el factor de descuento a 1 mes, también se necesita el factor de descuento a un día, pues es necesario despejar el siguiente sistema de ecuaciones:

$$FXDiscount = \frac{\frac{FD_{USD,1M}}{FD_{USD,1d}}}{\frac{FD_{CLP,1M}}{FD_{CLP,1d}}},$$

$$FXPoint_{1M} = Dolar_{1d} \cdot FXDiscount - Dolar_{1d},$$

$$Dolar_{1d} = DolarHoy \cdot \frac{FD_{USD,1d}}{FD_{CLP,1d}},$$

es decir, se tienen las siguientes dos ecuaciones:

$$FD_{1d} = 1 + (FD_{1M} - 1) \cdot \frac{t_{1d} - t_{0d}}{t_{1M} - t_{0d}},$$

$$FXPoint_{1M} = DolarHoy \cdot \frac{FD_{USD,1d}}{FD_{CLP,1d}} \cdot \left(\frac{\frac{FD_{USD,1M}}{FD_{USD,1d}}}{\frac{FD_{CLP,1M}}{FD_{CLP,1d}}} - 1 \right) = DolarHoy \cdot \left(\frac{FD_{USD,1M}}{FD_{CLP,1M}} - \frac{FD_{USD,1d}}{FD_{CLP,1d}} \right),$$

o equivalentemente:

$$FD_{1d} = 1 + (FD_{1M} - 1) \cdot \frac{t_{1d} - t_{0d}}{t_{1M} - t_{0d}},$$

$$FXPoint_{1M} FD_{CLP,1M} FD_{CLP,1d} = DolarHoy \cdot \left(FD_{USD,1M} FD_{CLP,1d} - FD_{USD,1d} FD_{CLP,1M} \right),$$

se puede demostrar que el sistema anterior se reduce a una ecuación cuadrática cuya incógnita es

FD_{1M}:

$$aFD_{1M}^2 + bFD_{1M} + c = 0$$

en donde:

- $a = FXPoint_{1M} \cdot \lambda$,
- $b = FXPoint_{1M} \cdot (1-\lambda) + DolarHoy \cdot FD_{USD,1d} - \lambda \cdot DolarHoy \cdot FD_{USD,1M}$,
- $c = (\lambda - 1) \cdot DolarHoy \cdot FD_{USD,1M}$.

A continuación, se presenta una tabla con los resultados para el 26 de enero de 2021.

Tabla 13: Factores de descuento hasta 18 meses.

Tenors	**Fechas**	**Factores de descuento**	**Tasas Cero**
1d	2021-01-27	1.00000318	-0.11
1M	2021-02-26	1.00009860	-0.11
2M	2021-03-29	1.00008392	-0.05
3M	2021-04-27	1.00010556	-0.04
4M	2021-05-27	1.00011854	-0.04
5M	2021-06-29	1.00026457	-0.06
6M	2021-07-27	1.00042103	-0.08
9M	2021-10-27	1.00078560	-0.10
1Y	2022-01-27	1.00050950	-0.05
18M	2022-07-27	0.99767693	0.15

5.4. Curva basis hasta 20 años

Después de 18 meses el siguiente tenor donde se tiene información es a 2 años, en donde se comienzan a conocer las tasas par de la ICP y los basis de la Libor 6M, desde donde se inicia el bootstrap. En este caso, el principio de no arbitraje toma la siguiente forma:

$$\underbrace{\left(\sum_{i=1}^{2\cdot\text{años}} DF_{1,i} \cdot (\Delta t_{1,i} \cdot R_{\text{años}})\right) + DF_{1,n}}_{\text{VP (pierna ICP)}} = \underbrace{\sum_{i=1}^{2\cdot\text{años}} DF_{2,i} \cdot (\Delta t_{2,i} \cdot (FWRate_i + basis_{\text{años}})) + DF_{2,n}}_{\text{VP (pierna Libor 6M)}}, \tag{12}$$

en donde:

- $\Delta t_{1,i}$: periodo de tiempo entre el pago $(i-1)$-ésimo y i-ésimo de la pierna asociada a la ICP.
- $\Delta t_{2,i}$: periodo de tiempo entre el pago $(i-1)$-ésimo y i-ésimo de la pierna asociada a la Libor 6M.
- $\Delta DF_{1,i}$: Factor de descuento i-ésimo CLP SOFR.
- $\Delta DF_{2,i}$: Factor de descuento i-ésimo SOFR.
- $FWRate_i$: Tasa forward asociada al periodo i-ésimo de la Libor 6M.

- $R_{años}$: Tasa par de la ICP a la cantidad de años respectiva.
- $basis_{años}$: Basis asociado a la cantidad de "años".

Observación: En la fórmula 16 se omite la presencia del nocional por simplicidad.

Se puede notar que en la ecuación 16 se logra obtener numéricamente la pierna asociada a la Libor 6M.
Para encontrar los factores de descuento de la curva basis CLP SOFR se usa la ecuación 16, si bien al igual que en la curva SOFR se obtiene un sistema de ecuaciones lineal y por simplicidad procederemos con el mismo método de las curvas Libor 3M, Libor 6M, Basis CLP SOFR e ICP.

A continuación, se presenta una tabla con los resultados para el 26 de enero de 2021.

Tabla 14: Factores de descuento hasta 20 años.

Tenor	**Fechas**	**Factores de descuento**	**Tasas Cero**
2Y	2023-01-30	0.99340298	0.32
3Y	2024-01-29	0.98223144	0.59
4Y	2025-01-28	0.96830190	0.79
5Y	2026-01-28	0.94899999	1.03
6Y	2027-01-28	0.92518809	1.28
7Y	2028-01-28	0.89986949	1.49
8Y	2029-01-29	0.87355565	1.67
9Y	2030-01-28	0.84736490	1.82
10Y	2031-01-28	0.82334969	1.92
15Y	2036-01-28	0.72730325	2.10
20Y	2041-01-28	0.65298841	2.11

5.5. Resultados del Bootstrap

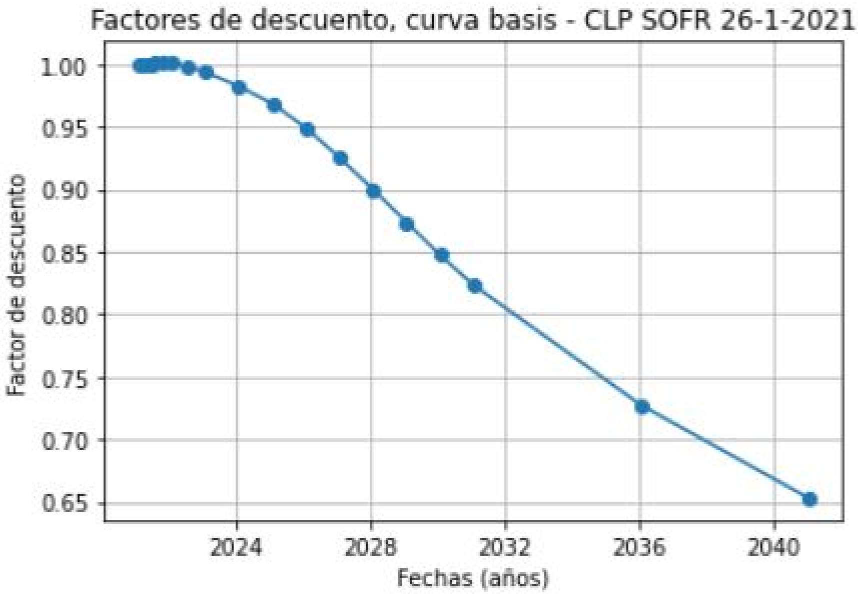


Figura 7: Factores de descuento del Basis CLP SOFR.

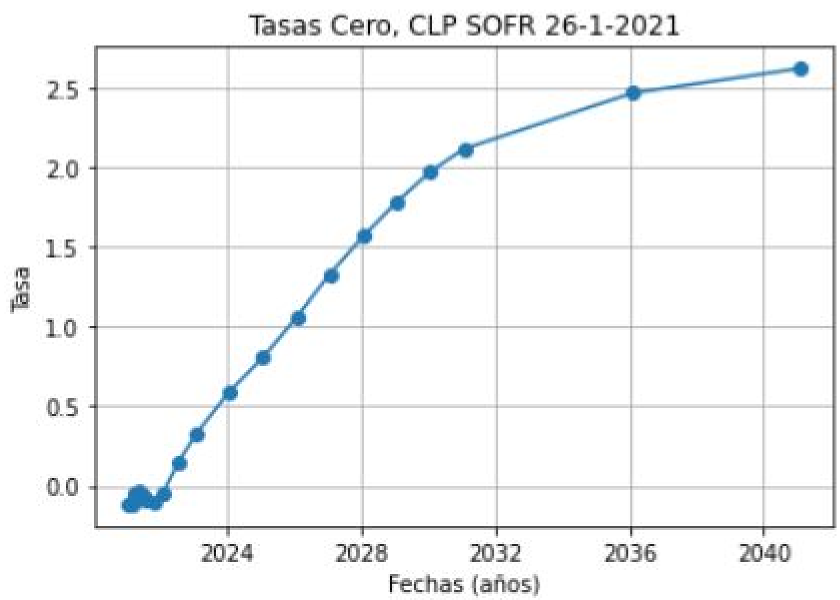


Figura 8: Tasas Cero del Basis CLP SOFR.

6. Construcción de la curva cero - ICP

En esta sección se explica la generación de la curva de proyección para el ICP mediante la construcción de los swaps ICP fijo-flotante en donde la primera pierna será fija y la segunda Flotante que se descontarán con la curva Basis CLP SOFR, mientras que la pierna flotante se proyectará con la ICP (resultado de esta curva). Ambas piernas poseen pagos semi anuales.

Esta curva requiere como insumos el día inicial (en este caso 26 de enero de 2021), las cotizaciones asociadas al swap promedio cámara y la curva basis CLP SOFR.

6.1. Características de los subyacentes

A continuación se detallan las características de los subyacentes de la curva:

- **Tipo de subyacentes :** IRS Fijo-Flotante.
- **Índice de proyección:** ICP.
- **Inicio del swap/ Start date :** t+2.
- **Frecuencia de pago:** Semi anual ambas piernas.
- **Date Roll:** Modified Following.
- **Convención de la tasa:** Act/360.
- **Tasa de remuneración:** SOFR.

6.2. Fuente de precio y estructura

Para ambos subyacentes la fuente de precio será un promedio de los 3 principales brokers locales. A continuación, se presentan las cotizaciones para esta curva:

Tabla 15: Cotizaciones del Swap Promedio Cámara.

Tenor	**Yield** (%)
MM ON	0.5
MM TON	0.5
3M	0.36
6M	0.36
9M	0.39
1Y	0.45
18M	0.58
2Y	0.75
3Y	1.04
4Y	1.31
5Y	1.58
6Y	1.85
7Y	2.08
8Y	2.28
9Y	2.47
10Y	2.62
15Y	2.93
20Y	3.04

6.3. Curva cero hasta 18 meses

Es importante mencionar primeramente que este swap tiene pagos semi anuales y hasta 18 meses es cupón cero. Además, se posee el Money Market Over Night y Tomorrow Next, de manera que los primeros dos factores de descuento se encuentran con la fórmula:

$$DF_{1\ día} = \frac{1}{1 + MM_{ON} \cdot \frac{\Delta t\ \text{dias}}{360}}, \quad DF_{2\ días} = \frac{DF_{1\ día}}{1 + MM_{TON} \cdot \frac{\Delta t\ \text{dias}}{360}},$$

además, también se conocen las tasas pares para los plazos de 3, 6, 9, 12 y 18 meses con lo cual los factores de descuento de los primero 3 pagos se encuentran directamente mediante la fórmula de interés simple:

$$DF = \frac{DF_{2días}}{1 + R \cdot \frac{\Delta t\ \text{dias}}{360}}.$$

6.4. Curva cero hasta 20 años

Después de 18 meses comenzaremos el bootstrap. En este caso, el principio de no arbitraje toma la siguiente forma:

$$\underbrace{\sum_{i=1}^{2\cdot\text{años}} Rate_i \cdot \Delta t_i \cdot DF_i}_{\text{VP (pierna Fija)}} = \underbrace{\sum_{i=1}^{2\cdot\text{años}} DF_i \cdot \Delta t_i \cdot FWRate_i,}_{\text{VP (pierna Flotante)}} \tag{13}$$

en donde:

- Δt_i: periodo de tiempo entre el pago $(i-1)$-ésimo y i-ésimo.
- ΔDF_i: Factor de descuento i-ésimo Basis CLP USD.
- $FWRate_i$: Tasa forward asociada al periodo i-ésimo de la ICP.
- $Rate_{\text{años}}$: Tasa par asociada a la cantidad de "años".

Se puede notar que en la ecuación 13 la pierna fija es totalmente conocida, de manera que se puede encontrar numéricamente.

Para encontrar los factores de descuento de la ICP se usará la ecuación 13, pues en tal ecuación la única posible incógnita son las últimas tasas forward de la pierna asociada a la ICP. Para encontrar las tasas forward en función de los factores de descuento, se usará exactamente la misma estrategia que en las curvas anteriores, de manera que se encontrarán todas las tasas forward en función del factor de descuento desconocido, asociado al último año de pago, mediante la interpolación de los demás factores de descuento desconocidos y las fórmulas de conversión de tasas a factores de descuento.

A continuación, se presenta una tabla con los resultados para el 26 de enero de 2021.

Tabla 16: Factores de descuento hasta 20 años.

Tenor	**Fechas**	**Factores de descuento**	**Tasas Cero**
1d	2021-01-27	0.99998611	0.50
2d	2021-01-28	0.99997222	0.50
3M	2021-04-28	0.99907306	0.36
6M	2021-07-28	0.99816554	0.36
9M	2021-10-28	0.99702353	0.39
1Y	2022-01-28	0.99543057	0.45
18M	2022-07-28	0.99125250	0.58
2Y	2023-01-30	0.98485367	0.75
3Y	2024-01-29	0.96881218	1.04
4Y	2025-01-28	0.94813795	1.31
5Y	2026-01-28	0.92270800	1.59
6Y	2027-01-28	0.89282749	1.87
7Y	2028-01-28	0.86143111	2.11
8Y	2029-01-29	0.82896373	2.32
9Y	2030-01-28	0.79506262	2.53
10Y	2031-01-28	0.76260113	2.69
15Y	2036-01-28	0.63365463	3.02
20Y	2041-01-28	0.53223657	3.13

Obteniendo este resultado en conjunto con el de la curva basis CLP SOFR se completarían las curvas necesarias para valorizar el Swap Promedio Cámara a remuneración SOFR. Simplemente, se debe proyectar con la curva ICP los flujos flotantes y descontar ambos flujos con la curva basis CLP SOFR.

6.5. Resultados del Bootstrapp

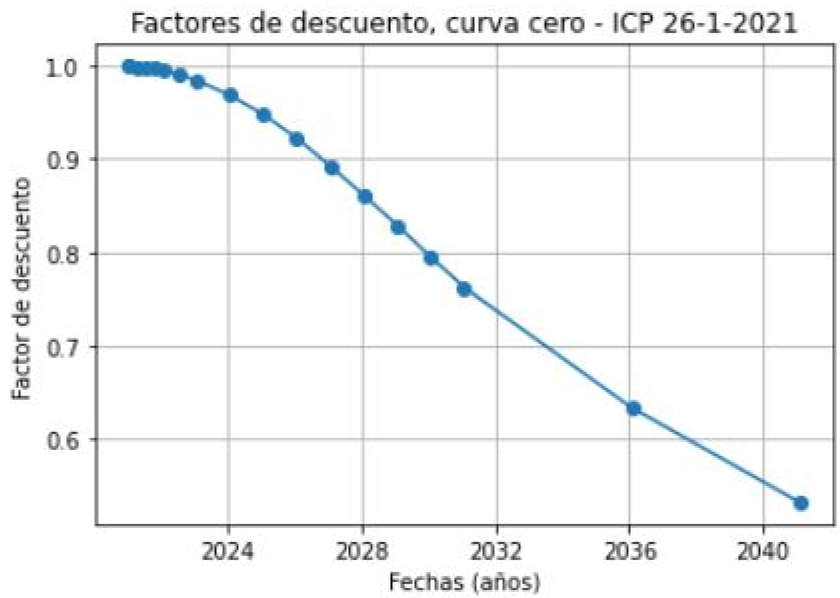


Figura 9: Factores de descuento curva ICP.

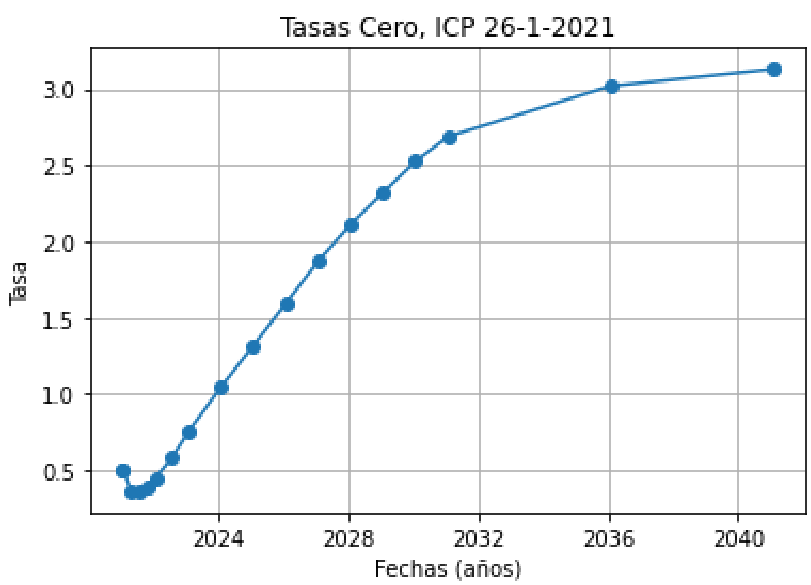


Figura 10: Tasas Cero curva ICP.

7. Pricing del Cross Currency Basis Swap ICP-SOFR

En esta sección se explica la generación de los precios sintéticos para el Cross Currency Basis Swap ICP - SOFR. Esta curva surge de la necesidad de reemplazar la Libor 6M por SOFR. Las curvas creadas hasta este capítulo siguen usando la Libor como input, sin embargo, el propósito de la generación de estos precios sintéticos es justamente para poder generar la curva basis CLP SOFR sin recurrir a riesgo Libor.

En la práctica, para recrear la curva basis CLP SOFR se reemplazarán los subyacentes ICP-Libor 6M por ICP-SOFR.

Estos precios sintéticos requieren como insumos el día inicial (en este caso 26 de enero de 2021), la curva ICP, SOFR y basis CLP SOFR.

7.1. Características del nuevo producto subyacente

A continuación, se detalla el term sheet a la fecha:

- **Inicio del swap/ Start date :** t+2
- **Frecuencia de pago:** Semi anual ambas piernas.
- **Date Roll:** Modified Following.
- **Convención de la tasa:** Act/360.
- **Spread de negociación del basis:** En pierna CLP.
- **Formato de liquidación:** Non delivery Dólar Observado.
- **Tasa de remuneración:** SOFR.

7.2. Definición de ecuación para cumplir con principio de no arbitraje

Para este caso la fórmula de no arbitraje toma la siguiente forma:

$$\underbrace{\left(\sum_{i=1}^{2\cdot\text{años}} DF_{1,i}\cdot(\Delta t_{1,i}\cdot(FWRate_{1,i}+basis_{\text{años}}))\right)+DF_{1,n}}_{\text{VP (pierna ICP)}} = \underbrace{\sum_{i=1}^{2\cdot\text{años}} DF_{2,i}\cdot(\Delta t_{2,i}\cdot FWRate_{2,i})+DF_{2,n}}_{\text{VP (pierna SOFR)}}, \tag{14}$$

en donde:

- $\Delta t_{1,i}$: periodo de tiempo entre el pago $(i-1)$-ésimo y i-ésimo de la pierna asociada a la ICP COL USD.
- $\Delta t_{2,i}$: periodo de tiempo entre el pago $(i-1)$-ésimo y i-ésimo de la pierna asociada a la SOFR.

- $\Delta DF_{1,i}$: Factor de descuento i-ésimo Basis CLP SOFR.
- $\Delta DF_{2,i}$: Factor de descuento i-ésimo SOFR.
- $FWRate_{1,i}$: Tasa forward asociada al periodo i-ésimo de la ICP .
- $FWRate_{2,i}$: Tasa forward asociada al periodo i-ésimo de la SOFR.
- $basis_{\text{años}}$: Basis asociado a la cantidad de "años".

En la fórmula 14 la única incógnita es el basis, este se despeja mediante la ecuación:

$$spread = \frac{VP_{SOFR} - DF_{1,n} - \sum_{i=1}^{n} DF_{1,i}(FWRate_{1,i} \cdot \Delta t_{1,i})}{\sum_{i=1}^{n} DF_{1,i} \cdot \Delta t_{1,i}}, \tag{15}$$

7.3. Resultados de los precios sintéticos para el CCBS ICP-SOFR

A continuación, se presenta una tabla con los resultados para el 26 de enero de 2021.

Tabla 17: Basis hasta 20 años.

Tenor	Basis en pierna ICP
2Y	-42.51
3Y	-45.28
4Y	-51.95
5Y	-55.53
6Y	-58.65
7Y	-61.61
8Y	-64.58
9Y	-69.53
10Y	-74.89
15Y	-88.73
20Y	-97.90

8. Remuneración del margen de variación en ComDer bajo softdolarización

En esta sección se explica el término "Softdolarización", la aplicación de esta transformación en el mercado mexicano a través de CME y la propuesta de tasa para la industria chilena.

8.1. ¿Qué es la Softdolarización?

En términos simples, la Softdolarización es un concepto utilizado para valorizar derivados financieros simulando una liquidación y remuneración en dólares cuando en realidad son liquidados en una moneda diferente al dólar.

8.1.1. Caso Mexicano

En el caso mexicano, la CCP de CME (Chicago Mercatile Exchange) permitió a los participantes liquidar el margen de variación de los Swaps TIIE en pesos mexicanos manteniendo la valorización como si fuera una remuneración en dólares. Para lograr esto, la tasa del "Price Alignment Ammount"(PAA) se debió ajustar y para ello se ajustó la tasa Fed funds usando el Tipo de cambio forward de 1 día y las tasas tomorrow next. Lamentablemente en Chile no existe un mercado forward a 1 día por lo que ajustar el PAA es un poco más complejo.

8.2. Propuesta de tasa de remuneración

El ajuste a la tasa SOFR utilizando la misma metodología de CME para este caso resultaría en la tasa a 1 día encontrada anteriormente en la curva Basis CLP SOFR usando la siguiente formula:

$$TasaPAA = R_{CLP1D} = \left(\left(\frac{FXpoint1D + spot_{CLP/USD}}{spot_{CLP/USD}} \right) \cdot \left(1 + R_{SOFR1D} \cdot \frac{periodo}{360} \right) - 1 \right) \cdot \frac{360}{periodo},$$

- $TasaPAA$: es la tasa anual simple equivalente a una SOFR en pesos que será utilizada para la remuneración de la sumatoria de márgenes de variación.
- $FXpoint1D$: Punto Forward del tipo de cambio USD/CLP a 1 día (Interpolación entre Spot y 1 Mes).
- $spot_{CLP/USD}$: Tipo de cambio Spot USD/CLP.
- $periodo$: Días entre la fecha de vencimiento y fecha de valorización.
- R_{SOFR1D}: Tasa SOFR a 1 día. En este caso se usó el Ticker **SOFRRATE Index** directamente desde Bloomberg.

Con esta fórmula se llegaría al siguiente resultado:

Tabla 18: Tasas de remuneración del margen de variación.

Tenors	Fechas	Tasa PAA Ajustada tipo CME
1d	2021-01-27	-0.11

Dado a que en Chile no se transa el punto forward a 1 día, y a que la liquidez del mercado FX a la fecha está en el tenor de 1 mes, ComDer utilizará este para el cálculo de la tasa PAA dando la flexibilidad de poder cambiar el tenor a medida de que la liquidez lo permita.

Si se calcula la tasa PAA utilizando el tenor de 1 mes con la siguiente fórmula el resultado sería el siguiente:

$$TasaPAA = R_{CLP1M} = \left(\left(\frac{FXpoint1M + spot_{CLP/USD}}{spot_{CLP/USD}}\right) \cdot \left(1 + R_{SOFR1M} \cdot \frac{periodo}{360}\right) - 1\right) \cdot \frac{360}{periodo},$$

en donde:

- $TasaPAA$: es la tasa anual simple equivalente a una SOFR en pesos que será utilizada para la remuneración de la sumatoria de márgenes de variación.
- $FXpoint1M$: Punto Forward del tipo de cambio USD/CLP a 1 mes.
- $spot_{CLP/USD}$: Tipo de cambio Spot USD/CLP.
- $periodo$: Días entre la fecha de vencimiento y fecha de valorización.
- R_{SOFR1M}: Tasa cero SOFR a 1M. En este caso se usó el Ticker **USOSFRA BGN Curncy** directamente desde Bloomberg.

Tabla 19: Tasas de remuneración del margen de variación.

Tenors	Fechas	Tasa PAA Ajustada para 1D y 1M
1d	2021-01-27	-0.11
1M	2021-02-26	-0.11

Como se puede notar, en este caso las tasas son iguales, sin embargo, como se comentó anteriormente el tenor de 1 mes tiene un respaldo de subyacentes líquidos y reales. En conclusión, esta será la tasa utilizada para remunerar los márgenes de variación para todos los productos softdolarizados en la cámara con liquidación en pesos. Es importante notar que el cálculo del monto del PAA sería el siguiente para cada transacción:

$$PAA = \left(-NPV_{t-1} \cdot TasaPAA \cdot \frac{periodo}{360}\right)$$

Cuando la tasa PAA es positiva y el NPV es positivo se descontará el monto del margen de variación del día siguiente mientras que si el NPV es negativo se sumará a este para compensar el costo de oportunidad SOFR que se puede obtener a traves de un FX Swap transformando el NPV a dólares en el mercado de FX.

9. Conclusión

El desarrollo metodológico presentado explica el cálculo para el precio sintético del instrumento Cross Currency Basis Swap ICP-SOFR con el basis en la pierna pesos a través de la construcción de cada curva involucrada y el proceso de bootstrapping para cada etapa bajo el principio de no arbitraje. Se pueden ver las dependencias de las curvas e implicancias del fin de la Libor para el currency basis actual.

Mientras que el mercado del CCBS ICP-SOFR no sea líquido esta es una buena aproximación del precio de mercado con los factores de riesgo actuales. Una vez desaparezca la Libor, se pueden utilizar los precios transados del nuevo producto para generar las Curvas ICP y Basis CLP SOFR reemplazando el swap Libor por completo. La ecuación a solucionar en este caso sería la siguiente:

$$\underbrace{\left(\sum_{i=1}^{2\cdot\text{años}} DF_{1,i}\cdot(\Delta t_{1,i}\cdot R_{\text{años}}+basis_{\text{años}})\right)+DF_{1,n}}_{\text{VP (pierna ICP)}}=\underbrace{\sum_{i=1}^{2\cdot\text{años}} DF_{2,i}\cdot(\Delta t_{2,i}\cdot(FWRate_i))+DF_{2,n}}_{\text{VP (pierna SOFR)}}, \tag{16}$$

en donde:

- $\Delta t_{1,i}$: periodo de tiempo entre el pago $(i-1)$-ésimo y i-ésimo de la pierna asociada al ICP.
- $\Delta t_{2,i}$: periodo de tiempo entre el pago $(i-1)$-ésimo y i-ésimo de la pierna asociada a la SOFR.
- $\Delta DF_{1,i}$: Factor de descuento i-ésimo CLP SOFR.
- $\Delta DF_{2,i}$: Factor de descuento i-ésimo SOFR.
- $FWRate_i$: Tasa forward asociada al periodo i-ésimo de la SOFR.
- $R_{años}$: Tasa par de la ICP a la cantidad de años respectiva.
- $basis_{años}$: Basis asociado a la cantidad de "años".

Finalmente, se presentó el concepto de Softdolarización y su implicancia en la moneda de liquidación y la tasa de remuneración en ComDer usando el tenor de 1M para el cálculo del basis del PAA. Como nota se replicó esta metodología en un script del lenguaje Python y se comparó con los resultados del sistema Calypso utilizado en ComDer. La comparación de resultados es consistente, por lo que no hay diferencias materiales en los cálculos siendo estas menores a 0.3 puntos básicos a 20 años.