

# RIESGOS FINANCIEROS

## Notas Técnicas:

Duración de Productos con Opcionalidad

Abril 10, 2026

**RIESGOS  
FINANCIEROS  
NOTAS TÉCNICAS****Duración de  
Productos con  
Opcionalidad****PÁG. 2**

Antecedentes

**PÁG. 3**

¿Qué es el prepago en los créditos hipotecarios?

**PÁG. 4**

¿Cómo se calcula el prepago?

**PÁG 8**

Metodología

**PÁG 15**

Caso Practico

**PÁG 17**

Aplicaciones y Usos

**PÁG 18**

Supuestos Técnicos

**PÁG 19**

Riesgos y Limitantes

**PÁG 20**

Referencias

**OBJETIVO GENERAL**

El objetivo de nuestro modelo es estimar el comportamiento del prepago de la cartera de crédito hipotecaria del banco mediante un enfoque conductual, con el fin de incorporar el efecto del prepago en la proyección de flujos de efectivo, la medición de la duración de los créditos y la sensibilidad del balance ante movimientos en tasas de interés. Desde una perspectiva de Administración de Activos y Pasivos (ALM), el modelo busca fortalecer la toma de decisiones estratégicas al apoyar el análisis de descálces de balance, la medición del IRRBB, el cálculo de requerimientos de capital, la gestión de liquidez y el marco de precios de transferencia interno.

**INTRODUCCIÓN**

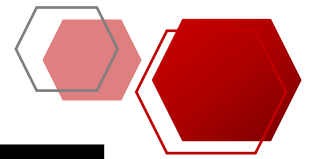
La opcionalidad implícita en los créditos hipotecarios introduce una de las principales fuentes de incertidumbre en la gestión del balance bancario, al afectar de manera no lineal la duración, la sensibilidad a tasas y la estabilidad de los flujos. En un entorno donde las decisiones de ALCO dependen cada vez más de la precisión en la medición del riesgo estructural, la correcta modelación del prepago deja de ser un ejercicio técnico y se convierte en un elemento central para la estrategia de balance.

En el marco de la regulación bancaria, el comportamiento de prepago de los créditos constituye un elemento relevante para la medición de riesgos estructurales del balance. Los estándares internacionales de Basilea han enfatizado la importancia de incorporar supuestos de comportamiento en la estimación de flujos, duración y sensibilidad a tasas de interés, particularmente en el contexto del riesgo de tasa de interés del balance (IRRBB) y la gestión integral de activos y pasivos (BCBS, 2016; BCBS, 2023). En México, la Comisión Nacional Bancaria y de Valores (CNBV), a través de la Circular Única de Bancos, establece lineamientos para la medición de riesgos financieros, el cálculo de requerimientos de capital y la administración de liquidez, en los cuales resulta fundamental contar con estimaciones realistas de los flujos esperados de los activos. En este contexto, el prepago de créditos hipotecarios introduce una opcionalidad implícita que modifica la vida financiera efectiva de los créditos y, por tanto, su impacto en métricas clave de ALM.

Ante ello, el desarrollo de modelos de prepago permite a las instituciones bancarias incorporar el comportamiento histórico de los acreditados en la proyección de flujos, fortaleciendo la medición de descalces de balance, la sensibilidad ante movimientos en tasas de interés y la planeación financiera bajo un enfoque consistente con las mejores prácticas regulatorias y de gestión de riesgos.

### **ANTECEDENTES**

Desde hace varias décadas, la literatura financiera ha reconocido que los créditos hipotecarios incorporan una opción implícita de prepago a favor del acreditado,



la cual introduce incertidumbre sobre la duración efectiva y los flujos futuros del instrumento. Este fenómeno fue ampliamente documentado en el desarrollo de los mercados hipotecarios y de valores respaldados por hipotecas, donde el prepago se identificó como uno de los principales determinantes del riesgo de tasa de interés y de valuación (Fabozzi, 2007).

A partir de estos desarrollos, se consolidó el uso de modelos de comportamiento para estimar el prepago, en los cuales la probabilidad de amortización anticipada se modela en función de características del crédito, del acreditado y del entorno económico. Estos enfoques reconocen que la decisión de prepago no es puramente contractual, sino el resultado de decisiones recurrentes influenciadas por incentivos económicos, como diferenciales de tasas, evolución del saldo y antigüedad del crédito (Dunn & McConnell, 1981; Schwartz & Torous, 1989).

Más recientemente, el fortalecimiento de los marcos regulatorios y de gestión integral de riesgos ha incrementado la relevancia de contar con modelos internos que reflejen el comportamiento observado de los clientes. En este contexto, los modelos conductuales de prepago se consolidan como una herramienta fundamental para alinear la medición de riesgos financieros con la realidad operativa de las carteras hipotecarias.

## **¿QUÉ ES EL PREPAGO EN LOS CRÉDITOS HIPOTECARIOS?**

### **El prepago como opción implícita en los créditos hipotecarios**

El prepago de un crédito hipotecario se define como la liquidación anticipada, total o parcial, del saldo insoluto del financiamiento antes de la fecha de vencimiento establecida en el contrato. Este comportamiento representa una característica fundamental de los créditos hipotecarios modernos y constituye una fuente relevante de incertidumbre en la administración de carteras crediticias.

Desde una perspectiva económica y financiera, el prepago puede interpretarse como una opción implícita a favor del acreditado. Al momento de la originación del crédito, el deudor adquiere el derecho, mas no la obligación, de modificar el calendario de pagos originalmente pactado mediante la amortización anticipada de su deuda. La institución financiera, por su parte, asume la exposición a esta decisión, la cual puede ejercerse en función de la evolución de variables económicas, financieras y personales del acreditado.



### **Originación del prepago**

La decisión de prepagar responde, en primera instancia, a incentivos económicos claros. En particular, cuando las tasas de interés de mercado se sitúan por debajo de la tasa contractual del crédito, el prepago se vuelve atractivo como mecanismo de refinanciamiento a mejores condiciones. En este contexto, el acreditado ejerce la opción implícita de prepago para reducir su costo financiero.

No obstante, el prepago no está determinado únicamente por factores financieros. Existen otros elementos relevantes, como cambios en el ingreso, venta del inmueble, decisiones patrimoniales o eventos extraordinarios, que influyen en el momento y la magnitud del prepago. Esta combinación de factores convierte al prepago en un fenómeno heterogéneo y de naturaleza conductual, cuya modelación requiere enfoques estadísticos que capturen patrones observados en el comportamiento histórico de los acreditados.

### Implicaciones del prepago para las instituciones financieras

Desde una perspectiva de ALCO, la incertidumbre en el prepago no solo afecta la medición del riesgo, sino que condiciona decisiones clave sobre la estructura del balance, la estrategia de fondeo y el diseño de coberturas. En particular, una subestimación del prepago puede generar sobre-exposición a tasas, mientras que una sobreestimación puede llevar a estrategias de cobertura ineficientes y menor captura de margen financiero.

El prepago representa un riesgo relevante que impacta directamente los flujos de efectivo esperados y la vida financiera efectiva de los activos hipotecarios. Cuando un crédito se prepaga, los intereses futuros dejan de percibirse y la duración del activo se reduce. **El prepago introduce convexidad negativa en la cartera hipotecaria, ya que ante disminuciones en tasas se acelera el prepago, limitando la apreciación del valor del activo.**

Adicionalmente, los cambios en las dinámicas de prepago tienen implicaciones relevantes sobre la rentabilidad y el desempeño del portafolio, ya que inciden en métricas utilizadas para evaluar la exposición al riesgo de tasa y la estabilidad del balance. Estas variaciones pueden distorsionar indicadores clave de gestión y control, tanto a nivel interno como en el cumplimiento de requerimientos regulatorios.

La comprensión del prepago, de su naturaleza opcional y de los factores que lo originan, constituye así un insumo fundamental para el desarrollo de marcos metodológicos que soporten una gestión más eficiente del balance y una toma de decisiones estratégicas informada.



### **¿CÓMO SE CALCULA EL PREPAGO?**

El cálculo del prepago en créditos hipotecarios requiere traducir el comportamiento esperado de los acreditados en métricas cuantitativas que puedan incorporarse de manera consistente en la proyección de flujos de efectivo y en el análisis financiero del portafolio. En términos generales, este proceso parte de la estimación de una tasa de prepago anual, comúnmente expresada como **Conditional Prepayment Rate (CPR)**, la cual se transforma posteriormente en tasas o montos mensuales de prepago que reflejan amortizaciones anticipadas del crédito. Esta metodología permite capturar de forma estructurada el impacto del prepago sobre la evolución del saldo insoluto y constituye la base para el cálculo de métricas como la duración ajustada y la sensibilidad del balance.

Dado que el prepago no ocurre de manera inmediata ni simultánea para todos los créditos, sino que puede materializarse en distintos momentos a lo largo de la vida del financiamiento, su análisis requiere un enfoque que permita incorporar explícitamente la dimensión temporal del evento. En este sentido, resulta relevante modelar no solo si el prepago ocurre, sino cuándo ocurre, considerando que para una parte de la cartera el evento puede no observarse durante el periodo de análisis.

### **Enfoque de modelos de sobrevivencia aplicados a créditos**

La modelación del prepago puede abordarse de manera natural mediante técnicas de análisis de sobrevivencia, originalmente desarrolladas en campos como la biomedicina y la ingeniería, pero ampliamente adoptadas en finanzas y economía para el análisis de eventos de tiempo discreto o continuo.

En este contexto, cada crédito hipotecario se interpreta como una unidad de análisis cuya “vida” inicia en el momento de su originación y finaliza cuando ocurre un evento de interés, en este caso, el **prepago**. Si al final del periodo de observación el crédito aún no ha sido prepago, se considera una observación **censurada**.

Las principales funciones utilizadas en el análisis de sobrevivencia son:

- **Función de sobrevivencia**

$$S(t) = P(T > t)$$

donde  $T$  representa el tiempo aleatorio hasta el prepago. Esta función expresa la probabilidad de que un crédito continúe vigente después del tiempo  $t$ .

- **Función de riesgo (hazard rate)**

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t \mid T \geq t)}{\Delta t}$$

La función de riesgo mide la probabilidad instantánea de que ocurra el prepago en el tiempo  $t$ , dado que el crédito ha sobrevivido hasta ese momento. El uso de estas funciones permite capturar adecuadamente la naturaleza dinámica del prepago y su dependencia del tiempo.

Desde el punto de vista del acreditado, la decisión de prepagar un crédito puede estar motivada por diversos factores, entre los que destacan la disminución de tasas de interés de mercado (refinanciamiento), mejoras en la situación económica del deudor, ventas de la vivienda, cambios en las condiciones contractuales o incentivos financieros. Para la institución financiera, el prepago representa un riesgo, comúnmente denominado riesgo de prepago, dado que los ingresos por intereses futuros pueden verse reducidos o eliminados. Matemáticamente, el problema del prepago consiste en estimar la probabilidad de que un crédito se mantenga vigente hasta cierto tiempo y, de manera equivalente, la probabilidad de que ocurra el evento de prepago en un horizonte temporal específico.

### Modelo de Riesgos Proporcionales de Cox

Uno de los modelos más utilizados dentro del análisis de sobrevivencia es el Modelo de Riesgos Proporcionales de Cox, debido a su flexibilidad y a que no requiere especificar de forma explícita la distribución base del tiempo hasta el evento. El modelo de Cox plantea que la función de riesgo de un individuo  $i$  en el tiempo  $t$  puede expresarse como:

$$h_i(t) = h_0(t)\exp(X_i\beta)$$

donde:

- $h_0(t)$  es la función de riesgo base, común para todos los créditos.
- $X_i$  es un vector de variables explicativas asociadas al crédito  $i$ .
- $\beta$  es el vector de coeficientes a estimar.

En el caso de los créditos hipotecarios, las variables explicativas pueden incluir características del crédito (tasa de interés, plazo, saldo insoluto), del acreditado (ingresos, historial crediticio), y del entorno macroeconómico, como las tasas de mercado (**el incentivo de prepago está determinado no solo por el nivel de tasas spot, sino por la estructura y las expectativas implícitas en los forwards**), inflación, desempleo, etc.

El supuesto clave del modelo es el de riesgos proporcionales, el cual establece que las razones de riesgo entre dos créditos cualesquiera son constantes en el tiempo y dependen únicamente de sus características observables.

## Modelación del prepago bajo el enfoque de Cox

Al aplicar el modelo de Cox al análisis de prepago, el evento de interés se define explícitamente como la liquidación anticipada del crédito. De esta forma, la función de riesgo representa la probabilidad instantánea de que un crédito sea prepago en un momento determinado, condicionado a que haya sobrevivido hasta dicho momento.

La función de supervivencia individual puede obtenerse a partir de la función de riesgo estimada:

$$S_i(t) = \exp \left( - \int_0^t h_i(u) du \right)$$

Esta función permite estimar la probabilidad de que un crédito continúe vigente después de cierto tiempo, lo cual es fundamental para la proyección de flujos y la valuación de la cartera hipotecaria.

Adicionalmente, la interpretación de los coeficientes del modelo ofrece información relevante sobre los determinantes del prepago. Un coeficiente positivo indica que la variable asociada incrementa el riesgo de prepago, mientras que un coeficiente negativo sugiere un efecto de reducción en dicho riesgo.

## Modelación del prepago mediante Regresión Logística

Además de los modelos de supervivencia, una aproximación ampliamente utilizada para el análisis del prepago en créditos hipotecarios es la **regresión logística**. Este enfoque permite modelar la ocurrencia del prepago como un evento binario dentro de un horizonte temporal previamente definido.

En el contexto crediticio, la regresión logística se emplea para estimar la probabilidad de que un crédito sea prepago en un periodo específico (por ejemplo, dentro de los próximos 12 meses), en función de un conjunto de variables explicativas relacionadas con el crédito, el acreditado y las condiciones económicas.

## Formulación del modelo logístico aplicado al prepago

La regresión logística modela la probabilidad de ocurrencia del evento de prepago  $Y_i$ , donde:

$$Y_i = \begin{cases} 1 & \text{si el crédito es prepago en el periodo de referencia} \\ 0 & \text{si el crédito no es prepago} \end{cases}$$

La probabilidad condicional de prepago se expresa como:

$$P(Y_i = 1 | X_i) = \frac{1}{1 + \exp(-(\alpha + X_i\beta))}$$

donde:

- $X_i$  es el vector de variables explicativas del crédito  $i$ ,
- $\beta$  es el vector de coeficientes asociados a dichas variables,
- $\alpha$  es el término constante del modelo.

Este planteamiento garantiza que la probabilidad estimada se encuentre acotada entre 0 y 1, lo que resulta adecuado para la modelación de eventos discretos como el prepago.

## Interpretación económica de los coeficientes

Los coeficientes estimados en un modelo de regresión logística se interpretan en términos de **odds ratios**. Específicamente, el exponencial de un coeficiente indica el cambio proporcional en las probabilidades relativas (odds) de prepago ante una variación marginal en la variable explicativa, manteniendo constantes el resto de los factores.

Un coeficiente positivo sugiere que la variable correspondiente incrementa la probabilidad de prepago, mientras que un coeficiente negativo indica un efecto reductor. Por ejemplo, un diferencial positivo entre la tasa de interés del crédito y la tasa de mercado suele incrementar la probabilidad de prepago, reflejando incentivos al refinanciamiento.

### Regresión logística y definición del horizonte temporal

Un aspecto relevante del uso de la regresión logística en el análisis de prepago es la definición del horizonte temporal del evento. A diferencia del modelo de Cox, la regresión logística no modela explícitamente el tiempo hasta el prepago, sino que evalúa si el evento ocurre o no dentro de un intervalo determinado.

Esta característica hace que el modelo logístico sea especialmente útil en escenarios donde:

- Se requieren métricas de corto plazo (por ejemplo, prepago a 6 o 12 meses).
- Se desea una implementación sencilla y computacionalmente eficiente.
- El objetivo principal es la clasificación de créditos según su probabilidad de prepago.

No obstante, esta aproximación implica que se pierde información sobre la dinámica temporal completa del evento, razón por la cual suele considerarse complementaria a los modelos de sobrevivencia.

### Comparación conceptual con los modelos de sobrevivencia

Mientras que el modelo de regresión logística se enfoca en la probabilidad del evento dentro de un periodo fijo, los modelos de sobrevivencia, como el de Cox, permiten capturar explícitamente el tiempo hasta el prepago y manejar de forma más natural observaciones censuradas.

En la práctica, ambos enfoques pueden emplearse de manera conjunta: la regresión logística como una herramienta de clasificación y análisis de corto plazo, y el modelo de Cox para una evaluación integral del riesgo de prepago a lo largo de la vida del crédito.

### Modelación del prepago mediante Árboles de Decisión

Otra metodología ampliamente utilizada para el análisis del prepago en créditos hipotecarios es el uso de **árboles de decisión**, los cuales forman parte de la familia de modelos de aprendizaje supervisado y se emplean principalmente para problemas de clasificación y regresión. En el contexto del prepago, los árboles de decisión permiten estimar la probabilidad de que un crédito sea prepagado dentro de un horizonte temporal definido, a partir de un conjunto de variables explicativas observables. Este enfoque se caracteriza por su capacidad para capturar relaciones no lineales y efectos de interacción entre las variables, lo que resulta particularmente relevante dado el carácter multifactorial y heterogéneo del comportamiento de prepago.

### Estructura y funcionamiento de un árbol de decisión

Un árbol de decisión se compone de una estructura jerárquica formada por **nodos**, **ramas** y **nodos terminales (hojas)**. En cada nodo interno, el modelo divide el conjunto de observaciones en subconjuntos más homogéneos de acuerdo con una regla basada en alguna variable explicativa. Estas divisiones continúan de manera recursiva hasta que se alcanza un criterio de parada, dando lugar a los nodos terminales.

Formalmente, el objetivo del árbol es maximizar la homogeneidad de la variable respuesta dentro de cada partición. En el caso de la modelación del prepago, la variable dependiente suele definirse como:

$$Y_i = \begin{cases} 1 & \text{si el crédito es prepagado en el periodo de referencia} \\ 0 & \text{si el crédito no es prepagado} \end{cases}$$

Los criterios de partición más comunes incluyen medidas de impureza como el **índice de Gini**, la **entropía** o la **reducción de varianza**, dependiendo de si el problema se plantea como clasificación o regresión

## Interpretación económica del árbol de decisión

Una de las principales ventajas de los árboles de decisión es su **interpretabilidad**. Cada trayectoria desde el nodo raíz hasta una hoja puede interpretarse como un conjunto de condiciones que caracterizan a un segmento específico de créditos con un comportamiento de prepago similar.

Por ejemplo, un camino del árbol puede describir un perfil de créditos con alta probabilidad de prepago asociado a combinaciones específicas de variables como un diferencial positivo entre la tasa contractual y la tasa de mercado, un bajo saldo insoluto o una antigüedad elevada del crédito. Esta estructura facilita el análisis económico y financiero de los determinantes del prepago, así como la identificación de perfiles de riesgo diferenciados dentro de la cartera.

## Árboles de decisión y horizonte temporal del prepago

Al igual que la regresión logística, los árboles de decisión suelen aplicarse a un **horizonte temporal fijo**, evaluando si el evento de prepago ocurre o no dentro de un periodo determinado. En este sentido, el árbol no modela explícitamente el tiempo hasta el evento, sino que se enfoca en la clasificación de créditos en función de su comportamiento futuro en un intervalo específico.

Esta característica hace que los árboles de decisión sean especialmente útiles en aplicaciones operativas, como la segmentación de la cartera, la priorización de estrategias comerciales o la evaluación del riesgo de prepago en el corto plazo.

## **METODOLOGÍA**

La presente sección describe la metodología empleada para estimar el comportamiento de prepago de la cartera hipotecaria, desde la construcción de la tasa de prepago hasta su incorporación en aplicaciones financieras posteriores. El enfoque metodológico se estructura de manera gradual, iniciando con la definición y cálculo de la tasa de prepago y avanzando hacia los modelos utilizados para su estimación.

## Construcción de la tasa de prepago (CPR)

La construcción de la tasa de prepago constituye el primer paso metodológico para modelar el comportamiento de amortización anticipada de los créditos hipotecarios. En este contexto, la Conditional Prepayment Rate (CPR) se utiliza como una medida estandarizada que resume la intensidad con la que los créditos son prepagados a lo largo del tiempo, permitiendo capturar el comportamiento esperado de la cartera de manera consistente y comparable.

En la literatura financiera, la CPR se define comúnmente como una tasa de mortalidad anualizada que mide la proporción del saldo insoluto que se prepaga anticipadamente en un año, ajustada por el comportamiento de pagos mensuales (Fabozzi, 2005). Esta métrica permite evaluar el ritmo al que los acreditados realizan pagos anticipados y facilita la comparación del comportamiento de prepago entre distintas carteras hipotecarias. **En la práctica, la CPR es función del diferencial entre la tasa del crédito y la tasa de mercado (refinancing incentive), así como de factores como seasoning y burnout.**

Para el cálculo de la CPR, primero se determina la métrica *Single Monthly Mortality (SMM)*, la cual representa la proporción del saldo insoluto que se prepaga en un mes determinado. El *SMM* se calcula mediante la siguiente expresión:

$$SMM_m = \frac{\text{Pago Adelantado}_m}{\text{Saldo Insoluto}_{m-1}}$$

Donde:

- $SMM_m$  es la *single monthly mortality* en el mes de observación  $m$
- $\text{Pago Adelantado}_m$  es el monto de pago adelantado en el mes  $m$
- $\text{Saldo Insoluto}_{m-1}$  es el saldo insoluto al cierre del mes  $m - 1$

A partir de la *SMM*, la *CPR* se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$CPR_m = 1 - (1 - SMM_m)^{12}$$

donde  $CPR_m$  corresponde a la tasa de prepago anual estimada para el mes de observación  $m$ .

La *CPR* así calculada constituye el insumo central para los modelos de estimación del prepago y permite su posterior transformación en tasas mensuales y montos esperados de amortización anticipada, los cuales se incorporan en la proyección de flujos de efectivo, el cálculo de la duración ajustada y la medición de riesgos estructurales del balance.

### **Análisis y Selección de Variables**

Como parte del desarrollo del modelo de prepago, se realizó un análisis exploratorio de las variables explicativas con el objetivo de evaluar su calidad, consistencia y relevancia informativa respecto al comportamiento de prepago. Este análisis permitió establecer una base adecuada para la estimación del modelo y facilitar la interpretación de los resultados.

Las variables consideradas abarcan distintas dimensiones del crédito hipotecario, incluyendo características del crédito, comportamiento del acreditado, atributos del colateral y condiciones generales del entorno. Esta diversidad permite capturar distintos factores que influyen en la decisión de prepago a lo largo de la vida del crédito.

En una primera etapa, se revisaron estadísticas descriptivas básicas de cada variable, incluyendo su distribución, rango de valores y presencia de valores ausentes. Este ejercicio permitió identificar variables con baja variabilidad o problemas de información que podrían limitar su aporte al modelo.

A partir de este análisis preliminar, el proceso de selección de variables se estructuró en **tres etapas complementarias**: el **análisis de correlaciones**, orientado a identificar variables con una relación relevante con la tasa de prepago; la **evaluación de multicolinealidad**, enfocada en reducir redundancias informativas y mejorar la estabilidad del modelo; y el **análisis de componentes principales**, cuyo objetivo es identificar las variables que concentran la mayor proporción de la variabilidad de la información y apoyar la reducción de dimensionalidad del conjunto de variables explicativas.

### **Análisis de correlaciones**

El análisis de correlaciones tiene como objetivo medir la relación estadística entre cada variable explicativa y la variable objetivo, así como identificar relaciones relevantes entre las propias variables independientes. Para variables continuas, una técnica comúnmente empleada es el coeficiente de correlación de Pearson, definido como:

$$\rho_{X,Y} = \frac{Cov(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y}$$

donde  $Cov(X,Y)$  representa la covarianza entre la variable explicativa  $X$  y la variable de respuesta  $Y$ , y  $\sigma_X$ ,  $\sigma_Y$  son sus respectivas desviaciones estándar.

Este coeficiente toma valores en el intervalo  $[-1, 1]$  donde valores cercanos a cero indican una relación lineal débil y valores cercanos a  $\pm 1$  sugieren una relación lineal más fuerte. En un enfoque metodológico, el análisis de correlaciones se utiliza como una herramienta exploratoria para identificar variables con potencial poder explicativo y descartar aquellas cuya relación con la tasa de prepago resulta marginal.

### Análisis de multicolinealidad

La multicolinealidad hace referencia a la existencia de una alta relación entre dos o más variables explicativas, lo cual implica que contienen información redundante. Este fenómeno puede generar inestabilidad en los modelos, aumentar la varianza de los estimadores y reducir la capacidad de generalización sobre muestras fuera de desarrollo.

Una forma estándar de evaluar la multicolinealidad consiste en analizar qué tan bien puede explicarse una variable independiente a partir del resto de las variables explicativas. Para ello, se utiliza el **factor de inflación de la varianza (VIF)**, definido como:

$$VIF_j = \frac{1}{1 - R_j^2}$$

donde  $R_j^2$  es el coeficiente de determinación obtenido al ajustar una regresión de la variable  $j$  respecto a las demás variables independientes.

Valores elevados del VIF indican una alta dependencia lineal entre las variables. De manera general, se considera que existe un problema significativo de multicolinealidad cuando:

$$VIF_j \Leftrightarrow R_j^2 > 0.90$$

En la práctica, el análisis de multicolinealidad suele realizarse de forma iterativa, eliminando en cada paso la variable con mayor VIF y reevaluando el conjunto restante. Este procedimiento busca reducir la redundancia informativa preservando, en la medida de lo posible, la capacidad explicativa del conjunto de variables.

En conjunto, el análisis de correlaciones y de multicolinealidad permite depurar las características iniciales, mejorar la calidad del conjunto de datos y establecer una base sólida para el desarrollo posterior de modelos de tasa de prepago, favoreciendo especificaciones más estables y parsimoniosas.

### Análisis de Componentes Principales

El **Análisis de Componentes Principales (PCA)** se utiliza como una técnica de reducción de dimensionalidad cuyo objetivo es resumir la información contenida en un conjunto amplio de variables explicativas correlacionadas, minimizando la pérdida de información relevante. Este análisis resulta especialmente útil cuando existe redundancia entre las variables y se busca obtener una representación más parsimoniosa del fenómeno estudiado.

Sea  $X = (X_1, X_2, \dots, X_p)$  el vector de variables explicativas, previamente estandarizadas para que cada una tenga media cero y varianza unitaria. El PCA se construye a partir de la descomposición espectral de la matriz de correlaciones  $R$ :

$$Rv_k = \lambda_k v_k$$

donde  $\lambda_k$  representa el autovalor asociado al componente  $k$  y  $v_k$  su autovector correspondiente. Cada componente principal se define como una combinación lineal de las variables originales:

$$Z_k = v_k X$$

La varianza explicada por cada componente está dada por su autovalor, y la proporción de información capturada por el componente  $k$  se expresa como:

$$\text{Proporción explicada}_k = \frac{\lambda_k}{\sum_{j=1}^p \lambda_j}$$

Desde un enfoque metodológico, el PCA permite identificar grupos de variables que capturan dimensiones comunes del comportamiento observado. Estos grupos pueden interpretarse como clústeres de variables altamente relacionadas, lo que facilita la selección de características representativas y reduce problemas de redundancia y colinealidad residual.

En la práctica, este análisis se emplea como una herramienta auxiliar dentro del proceso de análisis de características, buscando un equilibrio entre la conservación de la información relevante y la simplificación del conjunto de variables, lo que contribuye a una base más estable y eficiente para el desarrollo posterior de modelos cuantitativos.

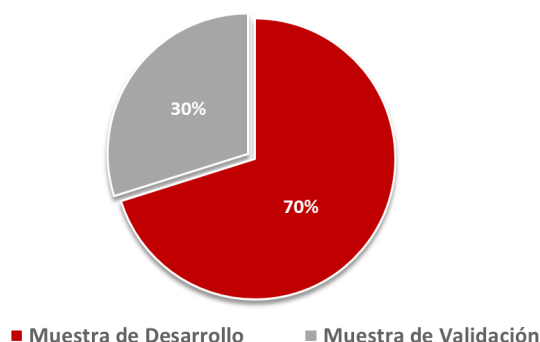
### Muestra de Desarrollo y Validación

Se emplea un muestreo aleatorio para seleccionar un subconjunto representativo de la población, donde todos los elementos tienen la misma probabilidad de ser elegidos.

La población se divide en dos partes: una muestra de desarrollo, utilizada para entrenar el modelo, y una muestra de validación, que permite evaluar su desempeño. En este caso, el 70% de los datos se destina al desarrollo del modelo y el 30% restante a la validación, siguiendo prácticas comunes en el análisis.

Para el análisis, se consideran únicamente aquellos casos que cumplen con ciertos criterios de comportamiento durante el periodo de observación. Aquellos que no cumplen con estas condiciones pueden excluirse del análisis en determinados momentos, con el fin de asegurar la consistencia de los resultados. La distribución final de las muestras se presenta en la figura 1:

**Figura 1. Distribución Final de las Muestras**



### Árboles de regresión aplicados a la modelación del prepago

Los árboles de decisión son algoritmos jerárquicos de aprendizaje supervisado que permiten modelar relaciones no lineales mediante un proceso de partición recursiva del espacio de variables explicativas. En el caso de los árboles de regresión, el objetivo es aproximar una variable continua, como una medida de prepago (por ejemplo, el CPR), segmentando la población en regiones homogéneas (James et al., 2013).

El procedimiento comienza seleccionando, en cada nodo, la variable y el punto de corte que minimizan el error de predicción. Cada división genera dos o más subconjuntos, y el proceso se repite de forma recursiva hasta cumplir criterios de parada, como un nivel aceptable de error o un tamaño mínimo del nodo para evitar sobreajuste.

### Criterio de partición y función de error

En los árboles de regresión, la calidad de cada partición se evalúa mediante el error cuadrático medio (MSE). Sea el nodo  $m$ , que contiene el conjunto  $X_m \subset X$ . Se define la función indicadora:

$$b_m(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x \in X_m \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

El error en el nodo  $m$  se define como:

$$R_m = \frac{1}{N_m} \sum_t (r_t - g_m)^2 b_m(x_t)$$

donde:

$$N_m = \sum_t b_m(x_t)$$

y el valor estimado en el nodo corresponde al promedio de la variable objetivo:

$$g_m = \frac{\sum_t b_m(x_t) r_t}{\sum_t b_m(x_t)}$$

En este caso,  $r_t$  representa la variable de prepago modelada. Si el error  $R_m$  es menor que un umbral predefinido  $\theta_r$ , el nodo se convierte en una hoja; de lo contrario, se continúa la partición de manera recursiva.

### Complejidad del modelo y poda del árbol

Para controlar el sobreajuste, se introduce el concepto de **costo de complejidad**, definido como:

$$CC(T) = R_T + \theta |T|$$

donde  $R_T$  es el error total del árbol,  $|T|$  es el número de hojas y  $\theta$  es un parámetro que penaliza la complejidad del modelo. Cuando  $\theta = 0$ , se obtiene el árbol completo; conforme  $\theta$  aumenta, el árbol óptimo se vuelve progresivamente más pequeño.

Breiman et al. (1984) demostraron que para cada valor de  $\theta$  existe un subárbol que minimiza el costo de complejidad. La selección del valor óptimo de  $\theta$  se realiza mediante un proceso de **poda**, utilizando validación cruzada o un conjunto de validación independiente.

### Selección del árbol óptimo

El procedimiento estándar consiste en generar una secuencia de subárboles asociados a distintos valores del parámetro de complejidad y evaluar su desempeño mediante validación cruzada. Para cada subárbol se calcula el error cuadrático medio fuera de muestra, y se selecciona aquel que minimiza el error promedio:

$$\overline{ECM}_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k ECM(T_{ij})$$

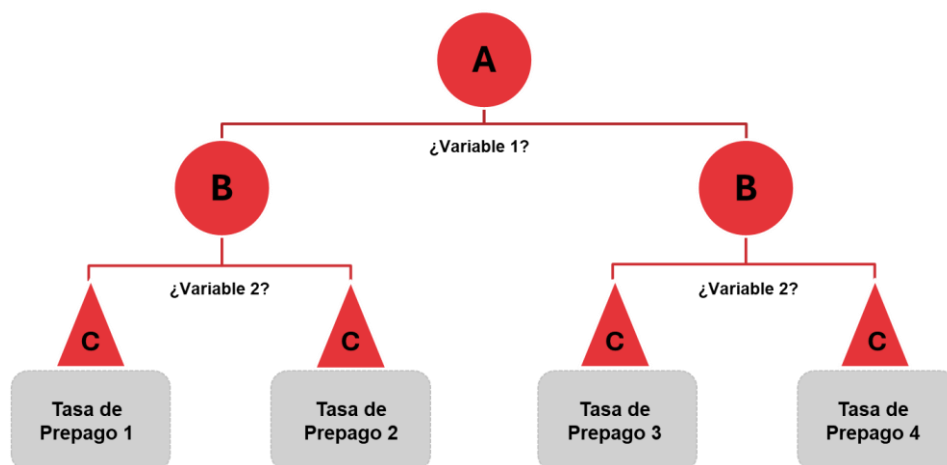
Este enfoque permite identificar el árbol que logra el mejor equilibrio entre capacidad predictiva y generalización, evitando el sobreajuste a los datos de entrenamiento (Breiman et al., 1984; Zhang y Singer, 2010).

### Interpretación en el contexto del prepago

Aplicados al análisis del prepago hipotecario, los árboles de regresión permiten segmentar la cartera en grupos relativamente homogéneos de créditos con patrones de prepago similares. Este enfoque resulta particularmente útil para capturar interacciones no lineales y efectos combinados entre variables explicativas, sin requerir supuestos paramétricos explícitos sobre la forma funcional de dichas relaciones. Cada nodo terminal del árbol puede interpretarse como una estimación del nivel esperado de prepago condicionado a un conjunto específico de características del crédito y del acreditado.

La Figura 2 muestra un ejemplo de un árbol de regresión, el cual ilustra la estructura de segmentación de la cartera definida por el modelo. A partir de las reglas de partición identificadas, se distinguen 4 segmentos con comportamientos de prepago diferenciados y relativamente homogéneos en su interior. Esta representación gráfica facilita la interpretación del modelo, al permitir identificar de manera clara los factores que más influyen en la segmentación y su contribución al comportamiento observado del prepago.

**Figura 2. Árbol de Regresión**  
Universo de Créditos del Modelo



### Aplicación de las tasas de prepago en el cálculo de la duración del crédito

Una vez estimada la tasa de prepago a partir del modelo interno, denotada como  $P_r$ , ésta se incorpora al cálculo de los flujos de efectivo esperados del crédito con el objetivo de estimar su duración ajustada por prepago, siguiendo el enfoque propuesto por Fabozzi. Este procedimiento permite modelar explícitamente el efecto del prepago sobre la evolución del saldo insoluto y sobre la vida efectiva del crédito.

El impacto del prepago en los flujos y en la duración depende de la forma en que éste se aplica contractualmente. En particular, se consideran dos esquemas: (i) prepago que reduce el monto sin modificar el plazo, y (ii) prepago que reduce el plazo manteniendo constante el pago contractual.

### Conversión de la tasa de prepago anual a tasa mensual

La tasa de prepago anual estimada por el modelo de árboles  $P_r$  se interpreta como una **CPR**, la cual posteriormente se convierte a una tasa mensual de prepago o **Single Monthly Mortality (SMM)** mediante la siguiente relación:

$$SMM = 1 - (1 - P_r)^{\frac{1}{12}}$$

donde **SMM** representa el porcentaje del saldo insoluto que se espera sea prepago mensualmente, una vez que el pago a capital del periodo ha sido realizado.

### Caso 1: Prepago que reduce monto y mantiene el plazo

En este esquema, el prepago se aplica directamente al saldo insoluto del crédito, reduciendo los intereses futuros, pero **manteniendo el plazo contractual original**.

#### Evolución del pago mensual ajustado por prepago

A partir de la tasa  $SMM$ , se define un factor  $B_t$  que ajusta el pago mensual original  $P$ :

$$B_t = (1 - SMM) \cdot B_{t-1}, B_1 = 1$$

El pago mensual ajustado por prepago en el periodo  $t$  se calcula como:

$$P_t^* = B_t \cdot P$$

Este pago se descompone en pago de intereses y amortización de capital:

$$i_t = S_t \cdot \frac{i\%}{12}$$

$$K_t = P_t^* - i_t$$

donde:

- $S_t$  es el saldo insoluto al inicio del periodo  $t$ .
- $i\%$  es la tasa de interés anual del crédito.

#### Cálculo del monto mensual de prepago y saldo remanente

El monto de prepago esperado en el periodo  $i$ ,  $Pr_t$ , se calcula como:

$$Pr_t = SMM \cdot (S_t - K_t)$$

El saldo insoluto evoluciona incorporando la amortización contractual y el prepago:

$$S_{t+1} = S_t - K_t - Pr_t$$

Bajo este esquema, los flujos continúan hasta el vencimiento original del crédito, aunque con montos decrecientes conforme el saldo se reduce.

### Caso 2: Prepago que reduce plazo manteniendo el pago

En este segundo esquema, el prepago se utiliza para adelantar amortizaciones, de forma que el pago mensual contractual se mantiene constante, pero el crédito se liquida anticipadamente, reduciendo su plazo efectivo

#### Pago mensual constante y descomposición del flujo

El pago mensual se mantiene constante en todos los periodos:

$$P_t^* = P \quad \forall t$$

Cada pago se descompone de la siguiente forma:

$$i_t = S_t \cdot \frac{i\%}{12}$$

$$K_t = P - i_t$$

### Cálculo del monto mensual de prepago y reducción del plazo

El prepago esperado en el periodo  $t$  se calcula nuevamente como:

$$Pr_t = SMM \cdot (S_t - K_t)$$

El saldo insoluto evoluciona como:

$$S_{t+1} = S_t - K_t - Pr_t$$

El proceso continúa hasta que:

$$S_{T^*} \leq 0$$

donde  $T^*$  representa el plazo efectivo del crédito, menor al plazo contractual original. A partir de este periodo, el crédito se considera totalmente liquidado y no existen flujos posteriores.

### Cálculo de la duración ajustada por prepago

Para el cálculo de la duración, los flujos de efectivo del crédito se ajustan para incorporar el prepago estimado mediante el modelo interno, por lo que la métrica utilizada corresponde a una **Duración de Macaulay ajustada por prepago**, en línea con la regulación local. La duración se calcula como:

$$D = \frac{1}{P} \sum_{k=1}^n \frac{f_k \cdot d_k}{\left(1 + i \cdot \frac{t_k}{360}\right)^{\frac{d_k}{t_k}}}$$

donde:

- $D$  es la duración del crédito.
- $n$  es el número de flujos por transcurrir (igual a  $T$  en reducción de monto y  $T^*$  en reducción de plazo).
- $P$  es el valor del instrumento incluyendo intereses devengados.
- $i$  es la tasa de rendimiento anual.
- $f_k$  incluye intereses, amortización y prepago.
- $d_k$  es el número de días naturales entre la fecha de cálculo y la fecha del flujo  $k$ .
- $t_k$  es el número de días naturales entre flujos consecutivos.

**La duración estimada corresponde a una duración efectiva, dado que los flujos dependen endógenamente del comportamiento del prepago.**

Bajo el enfoque de Fabozzi, ambos esquemas permiten capturar adecuadamente la naturaleza opcional del prepago, aunque generan perfiles de flujos y duraciones distintas. Cuando el prepago reduce monto, la duración disminuye de forma gradual al redistribuir los flujos; cuando reduce plazo, la duración se acorta de manera más pronunciada al eliminar completamente los flujos de largo plazo. En ambos casos, la duración ajustada refleja la vida efectiva del crédito, considerando explícitamente el comportamiento esperado de prepago.

## CASO PRACTICO

### Datos generales del crédito (escenario base, sin prepago):

Supóngase un crédito hipotecario con las siguientes características:

- Monto del crédito: \$1,000,000 MXN
- Plazo original: 20 años (240 meses)
- Tasa de interés anual fija: 10%
- Tasa de interés mensual

$$i_m = \frac{10\%}{12} = 0.8333\%$$

Con estas condiciones, el pago mensual aproximado del crédito es:

$$P \approx \$9,650$$

Bajo este escenario **sin prepago**, el crédito genera flujos mensuales constantes compuestos por intereses y amortización de capital, hasta el vencimiento contractual en el mes 240.

### Duración del crédito sin prepago

Siguiendo la fórmula de duración

$$D = \frac{1}{P} \sum_{k=1}^n \frac{f_k \cdot d_k}{\left(1 + i \cdot \frac{t_k}{360}\right)^{\frac{d_k}{t_k}}}$$

donde  $f_k$  representa los flujos contractuales (intereses + capital).

Para un crédito hipotecario con pagos mensuales constantes y sin prepago, la duración suele ser **considerablemente menor que el plazo contractual**, debido a la amortización progresiva del principal. En este ejemplo, la **duración aproximada** del crédito resulta cercana a:

$$D_{\text{sin prepago}} \approx 8.5 \text{ años}$$

### Prepago Anual

Ahora se introduce el supuesto de que el crédito presenta una tasa anual de prepago (CPR) de:

$$Pr = 6\% \text{ anual}$$

Esta tasa es razonable para una cartera hipotecaria mexicana con cierto dinamismo de refinanciamiento. La tasa mensual de prepago ( $SMM$ ) se obtiene como:

$$SMM = 1 - (1 - 0.06)^{\frac{1}{12}} \approx 0.0051$$

Es decir, **aproximadamente el 0.51% del saldo insoluto** se prepaga cada mes, una vez realizado el pago a capital del periodo.

### Aplicación del prepago: reducción de monto (no de plazo)

Bajo el enfoque de Fabozzi, se asume que el prepago:

- Reduce el saldo insoluto,
- No modifica el plazo contractual,
- Reduce gradualmente el monto del pago mensual efectivo.

El pago mensual ajustado se modela mediante el factor:

$$B_t = (1 - SMM) \cdot B_{t-1}, B_1 = 1$$

y el pago efectivo del periodo es:

$$P_t^* = B_t \cdot P$$

En términos prácticos, los efectos del prepago son los siguientes:

- En los primeros meses, el prepago es pequeño, pero constante.
- Conforme el saldo se reduce más rápido que en el escenario original, los intereses futuros disminuyen.
- El peso de los flujos lejanos en el tiempo se reduce de manera significativa, aunque el crédito sigue “vivo” hasta el mes 240.

### Duración ajustada por prepago

Al incorporar el monto de prepago esperado en cada flujo  $f_k$ , la duración se vuelve a calcular usando la misma fórmula:

$$D = \frac{1}{P} \sum_{k=1}^n \frac{f_k^{\text{ajustado}} \cdot d_k}{\left(1 + i \cdot \frac{t_k}{360}\right)^{\frac{d_k}{t_k}}}$$

Dado que ahora una mayor proporción del valor presente se concentra en los primeros años, la duración del crédito se reduce. Para este ejemplo, la **duración ajustada por prepago** se aproxima a:

$$D_{\text{con prepago}} \approx 6.8 \text{ años}$$

### Conclusión

Este ejercicio ilustra claramente el efecto del prepago sobre la duración del crédito:

- Aunque el **plazo contractual permanece en 20 años**.
- El **prepago adelanta flujos de capital**.
- Reduce el saldo insoluto más rápidamente.
- **Acorta la vida financiera efectiva del crédito**.

En este ejemplo, una tasa anual de prepago del **6%** reduce la duración de aproximadamente **8.5 años a 6.8 años**, es decir, una disminución cercana al **20%** en la exposición temporal del crédito.

Desde el punto de vista de gestión de riesgo y balance, esta reducción en la duración implica:

- Menor sensibilidad a movimientos de tasas de interés.
- Cambios relevantes en métricas de ALM.
- Valuación más realista de la cartera hipotecaria.

Más allá de su impacto en la duración, el prepago redefine la forma en que el balance responde a movimientos en tasas, introduciendo no linealidades que deben ser gestionadas activamente. En este sentido, la modelación del prepago no solo mejora la medición del riesgo, sino que se convierte en un insumo fundamental para la toma de decisiones estratégicas en ALCO, particularmente en la definición de coberturas (**e.g. swaps, swaptions, etc.**), la asignación de capital y la optimización del balance.

### **APLICACIONES Y USO DEL MODELO**

El modelo de prepago constituye un insumo estratégico para la toma de decisiones financieras del banco, al permitir incorporar el comportamiento esperado de los acreditados en la proyección de flujos, la medición de riesgos y la gestión integral del balance. Su uso se enfoca en análisis a nivel cartera y está estrechamente vinculado con las funciones de Administración de Activos y Pasivos (ALM). Las principales aplicaciones del modelo son las siguientes:

#### **Gestión de Activos y Pasivos (ALM)**

El modelo se utiliza para estimar la vida financiera efectiva de la cartera hipotecaria mediante la duración ajustada por prepago, permitiendo una mejor medición de los descalces de plazo y sensibilidad entre activos y pasivos. Esto contribuye a una administración más precisa del balance y a la definición de estrategias de fondeo y cobertura.

#### **Cálculo de requerimientos de capital**

Las estimaciones de prepago se incorporan en la proyección de flujos y valuación de activos, apoyando el cálculo de métricas regulatorias y económicas relacionadas con requerimientos de capital. Al reflejar de forma más realista la vida de los créditos, el modelo permite una medición más consistente del riesgo asumido por la institución.

### **Medición del riesgo de tasa de interés (IRRBB)**

El modelo es un componente clave en la medición del riesgo de tasa de interés del balance (IRRBB), ya que el prepago modifica la sensibilidad de los flujos ante movimientos en tasas. En este contexto, la correcta estimación del prepago es determinante tanto para la medición del valor económico del capital (EVE) como para la proyección del margen financiero (NII), al modificar la temporalidad y magnitud de los flujos esperados.

### **Proyección de flujos de efectivo y rentabilidad futura**

Las tasas de prepago estimadas permiten construir flujos de efectivo esperados más realistas, los cuales son utilizados en ejercicios de valuación, planeación financiera y estimación de rentabilidad futura de la cartera. Esto facilita una mejor proyección de ingresos por intereses y una evaluación más precisa del desempeño esperado del portafolio.

### **Marco de precios de transferencia (FTP)**

El modelo alimenta el esquema de precios de transferencia interna al proporcionar estimaciones de duración y vida efectiva de los activos, lo que permite asignar costos y beneficios de fondeo de manera consistente entre unidades de negocio. De esta forma, el prepago se incorpora explícitamente en la medición de rentabilidad ajustada por riesgo.

### **Gestión de liquidez**

Al anticipar la entrada de flujos derivados del prepago, el modelo contribuye a una mejor planeación de la liquidez del banco. La estimación de flujos esperados permite identificar necesidades de fondeo, optimizar el uso de recursos líquidos y fortalecer la gestión del riesgo de liquidez en distintos horizontes de tiempo.

## **SUPUESTOS TÉCNICOS**

El modelo de prepago se construye bajo una serie de supuestos técnicos que permiten simplificar la complejidad del comportamiento de los acreditados y hacer viable su implementación cuantitativa. Estos supuestos no buscan capturar de manera exhaustiva todos los factores que influyen en la decisión de prepago, sino establecer un marco metodológico coherente para estimar tasas de prepago y utilizarlas en aplicaciones financieras posteriores.

- 1. Homogeneidad dentro de segmentos:** El modelo asume que los créditos con características similares presentan un comportamiento de prepago comparable, lo que permite agrupar observaciones y estimar patrones comunes dentro de segmentos relativamente homogéneos de la cartera.
- 2. Naturaleza conductual (modelo de comportamiento):** El modelo se concibe como un modelo de comportamiento, en el sentido de que estima las tasas de prepago (CPR) a partir de la forma en que los clientes han actuado históricamente ante distintos incentivos económicos y condiciones del crédito. En este contexto, el prepago se interpreta como el resultado de decisiones recurrentes de los acreditados, más que como un fenómeno puramente contractual o determinístico.
- 3. Constancia de la tasa de prepago en el periodo de proyección:** Para la proyección de flujos y el cálculo de métricas financieras, se asume que la tasa de prepago estimada (CPR) permanece constante dentro de cada periodo, lo que permite su conversión a una tasa mensual (SMM) y su aplicación consistente en el tiempo. Si bien este supuesto facilita la implementación operativa del modelo, en la práctica las tasas de prepago presentan alta variabilidad en función de las condiciones de mercado, por lo que su uso debe interpretarse como una aproximación que puede subestimar la dinámica real del comportamiento del prepago.
- 4. Aplicación contractual del prepago:** Se asume que el prepago se aplica de acuerdo con las condiciones contractuales del crédito, ya sea como una reducción del saldo insoluto manteniendo el plazo original o como una reducción del plazo manteniendo el pago, según el esquema definido para el análisis.

5. **Ausencia de cambios regulatorios significativos:** El modelo parte del supuesto de que no existen cambios regulatorios, fiscales o contractuales relevantes que alteren de forma sustancial los incentivos al prepago durante el horizonte de aplicación del modelo.
6. **Calidad y consistencia de la información:** Se asume que las variables utilizadas han sido previamente depuradas y validadas, y que los errores de medición, valores atípicos o datos faltantes no afectan de manera significativa la estimación de las tasas de prepago.

## **RIESGOS Y LIMITANTES**

Si bien el modelo de prepago proporciona una estimación estructurada y consistente del comportamiento esperado de la cartera, es importante reconocer los riesgos y limitantes inherentes a su uso. Estos elementos deben considerarse al interpretar los resultados y al utilizarlos como insumo para la toma de decisiones de negocio y planeación financiera.

1. **Cambios en el entorno económico y de tasas de interés:** El desempeño del modelo puede verse afectado ante variaciones relevantes en las condiciones económicas, particularmente en escenarios de movimientos abruptos en tasas de interés, inflación o disponibilidad de crédito, que modifiquen los incentivos al prepago respecto a los observados históricamente.
2. **Evolución del comportamiento de los clientes:** Al tratarse de un modelo de carácter conductual, existe el riesgo de que cambios en las preferencias, hábitos financieros o estrategias de los clientes no se reflejen de inmediato en la información histórica, lo que puede reducir la capacidad predictiva del modelo en ciertos periodos.
3. **Limitaciones asociadas a la información disponible:** La calidad de las estimaciones depende de la cobertura, consistencia y precisión de la información utilizada. Restricciones en variables relevantes, errores operativos o falta de historial suficiente pueden impactar los resultados del modelo.
4. **Uso de tasas promedio a nivel cartera:** Las tasas de prepago estimadas representan comportamientos promedio por segmento o cartera, por lo que no reflejan necesariamente el comportamiento específico de créditos individuales. Esto limita su uso para decisiones comerciales o tácticas a nivel cliente.
5. **Simplificación en la proyección del prepago:** El uso de tasas de prepago constantes durante los periodos de proyección facilita la estimación de flujos y métricas financieras, pero puede no capturar completamente la variabilidad real del prepago a lo largo del tiempo, especialmente en horizontes de análisis extensos.
6. **Dependencia del esquema contractual asumido:** Los resultados del modelo, en particular métricas como la duración ajustada por prepago, dependen del supuesto sobre cómo se aplica el prepago (reducción de monto o reducción de plazo). Cambios en este esquema pueden generar diferencias relevantes en las métricas resultantes.

## **CONCLUSIÓN REFLEXIVA**

El modelo representa un avance sólido en la incorporación del comportamiento de prepago dentro de la gestión del balance. Sin embargo, su efectividad depende críticamente de la precisión conceptual y metodológica en variables clave como *CPR*, *SMM* y la dinámica de tasas. Pequeñas inconsistencias en estos elementos pueden amplificarse en decisiones de ALM, generando sesgos relevantes en duración, sensibilidad y valuación. En este sentido, más que un ejercicio técnico, la modelación del prepago debe entenderse como un componente estratégico cuya robustez define la calidad de la toma de decisiones financieras.

**REFERENCIAS**

- (1) **Basel Committee on Banking Supervision. (2016).** Minimum capital requirements for market risk. Bank for International Settlements.
- (2) **Basel Committee on Banking Supervision. (2023).** Basel III: Finalising post-crisis reforms. Bank for International Settlements.
- (3) **Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A., & Stone, C. J. (1984).** Classification and regression trees. Wadsworth International Group.
- (4) **Dunn, K. B., & McConnell, J. J. (1981).** Valuation of GNMA mortgage-backed securities. The Journal of Finance, 36(3), 599–616. <https://doi.org/10.2307/2327534>
- (5) **Fabozzi, F. J. (2007).** Fixed income analysis (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- (6) **James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013).** An introduction to statistical learning: With applications in R. Springer.
- (7) **Schwartz, E. S., & Torous, W. N. (1989).** Prepayment and the valuation of mortgage-backed securities. The Journal of Finance, 44(2), 375–392. <https://doi.org/10.2307/2328589>
- (8) **Zhang, H., & Singer, B. (2010).** Recursive partitioning and applications. Springer.

**DISCLAIMER**

Este documento ha sido preparado por Grupo Financiero Banorte, S.A.B. de C.V. ("Banorte") para fines meramente informativos, utilizando fuentes públicas y especializadas consideradas confiables; no obstante, Banorte no garantiza la precisión, integridad, ni la vigencia de la información prevista en el mismo. Su contenido no constituye asesoría legal, fiscal, financiera, contable ni una interpretación oficial del marco legal aplicable. En caso de requerirlo, se recomienda consultar con asesores legales, fiscales, financieros, contables o de inversión independientes. La información contenida en este documento está sujeta a modificaciones sin previo aviso.

Ni Banorte ni ninguna de las entidades que integran el Grupo serán responsables, en ningún caso, por pérdidas, daños o perjuicios que pudieran derivarse, directa o indirectamente, del uso de este documento o de su contenido. Del mismo modo, Banorte no adquiere compromiso alguno de actualizar la información aquí contenida ni de notificar cambios posteriores. El contenido de este documento podría diferir de la opinión o interpretación de autoridades financieras nacionales o internacionales, y no debe considerarse como un posicionamiento institucional de Banorte.

# RIESGOS FINANCIEROS

