

# CreditCruncher User's Guide

## Version 0.1



**Queen**



**Drone**



**Worker**

Gerard Torrent Gironella

24 de enero de 2005

Copyright © 2004-2005 Gerard Torrent Gironella. All rights reserved.

The image found in cover have been taken from Mark L. Winston. 1987. *The Biology of the Honey Bee* (ISBN: 0-671-07109-2). Harvard University Press. Cambridge, MA. These redrawn figures appear here without permission of Harvard University Press [Ref: 973029].

This file is part of the CreditCruncher software package. For license information, see the COPYING file in the top level directory of the CreditCruncher source distribution.

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>5</b>
1.1. About CreditCruncher . . . . .	5
1.2. Modelos de valoración del riesgo de crédito . . . . .	6
<b>2. Formulación del problema</b>	<b>7</b>
2.1. Cartera de créditos . . . . .	7
2.1.1. Ratings . . . . .	8
2.1.2. Sectores . . . . .	8
2.1.3. Exposición . . . . .	8
2.1.4. Severidad . . . . .	8
2.2. Value At Risk (VAR) . . . . .	8
2.3. Matriz de transición . . . . .	8
2.3.1. Definición. . . . .	8
2.3.2. Ejemplo. . . . .	9
2.3.3. Propiedades . . . . .	9
2.3.4. Cambio de periodo . . . . .	9
2.3.5. Tasa de morosidad anticipada . . . . .	10
2.4. Matriz de correlación sectorial . . . . .	10
<b>3. Resolución del problema</b>	<b>11</b>
3.1. Hipotesis . . . . .	11
3.2. El método de Monte Carlo . . . . .	11
3.3. Copulas. Variables aleatorias correlacionadas . . . . .	11
<b>4. Implementación de la solución</b>	<b>13</b>
<b>5. Apéndices</b>	<b>15</b>
5.1. Cálculo de la raíz de una matriz . . . . .	15
5.2. La variable aleatoria normal . . . . .	15
5.2.1. Definición y propiedades . . . . .	15
5.2.2. Simulación . . . . .	16



# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. About CreditCruncher

CreditCruncher valora el riesgo de impago de una cartera de créditos usando la técnica de simulación Monte Carlo. Es una implementación libre de la metodología CreditMetrics<sup>1</sup>.

Se dispone de una cartera de N clientes donde cada cliente tiene contratado uno o varios productos con riesgo de crédito. Cada cliente tiene asignado un rating de calidad crediticia y existe una matriz de transición que permite determinar la probabilidad de fallido a un horizonte de tiempo fijado. Los clientes pertenecen a diversos sectores de los que disponemos de una matriz de correlación que indica el grado de dependencia intersectorial en caso de fallido. A partir de la matriz de correlación intersectorial se construye la matriz de correlación entre clientes. Finalmente se genera un conjunto de N variables aleatorias uniformes correlacionadas según esta matriz (cópula). Se usa la matriz de transición para determinar la evolución del rating inicial de cada cliente y se evalúa el valor de sus productos. Si se repite este proceso un número elevado de veces disponemos de un conjunto de valores posibles de la cartera que permiten determinar la distribución del valor de la cartera y calcular el VAR (Value At Risk). Para mas información consúltese el manual de CreditCruncher donde se describe con detalle todos los pasos realizados.[1, 2]

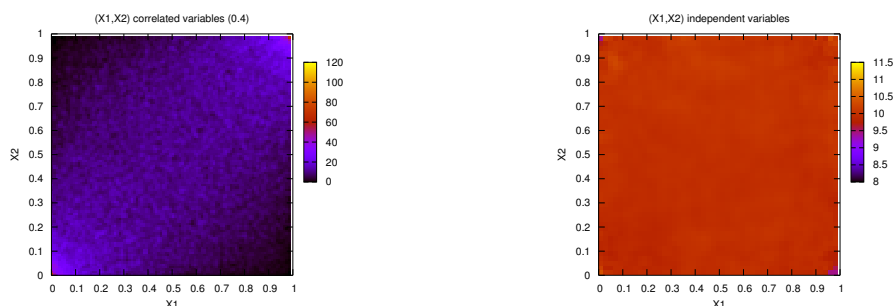


Figura 1.1: Bivariate distribution plot with correlation and independent

---

<sup>1</sup><http://www.riskmetrics.com/>

## **1.2. Modelos de valoración del riesgo de crédito**

Se recomienda la lectura del excelente artículo *Different strokes* [?] donde se exponen los modelos de valoración del riesgo de crédito y sus principales características.

## Capítulo 2

# Formulación del problema

Deseamos valorar las pérdidas que puede ocasionar una cartera de créditos considerando que la única fuente de pérdidas es el impago.

En este capítulo se introducen los elementos considerados claves para la definición del problema.

### 2.1. Cartera de créditos

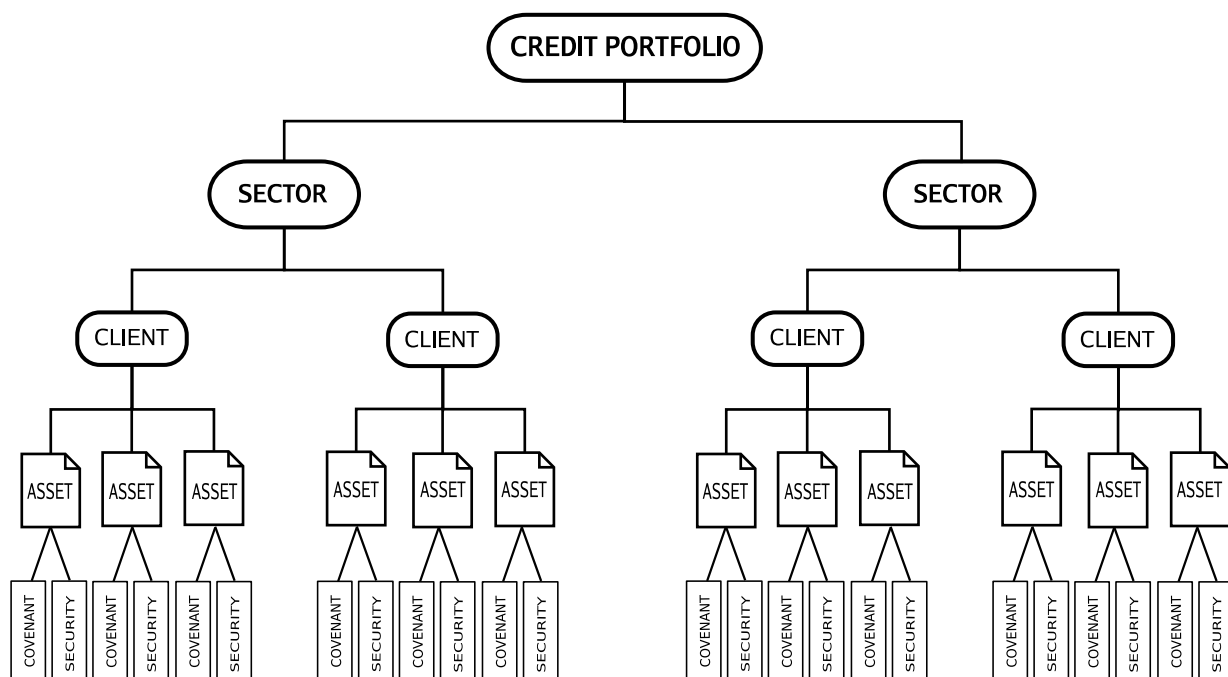


Figura 2.1: Estructura de la cartera de créditos

### 2.1.1. Ratings

### 2.1.2. Sectores

### 2.1.3. Exposición

### 2.1.4. Severidad

## 2.2. Value At Risk (VAR)

## 2.3. Matriz de transición

### 2.3.1. Definición.

La matriz de transición nos proporciona la probabilidad que un cliente con rating inicial  $r_i$  pase a tener, al cabo de un tiempo  $T$ , rating  $r_j$ . La denotamos de la forma siguiente:

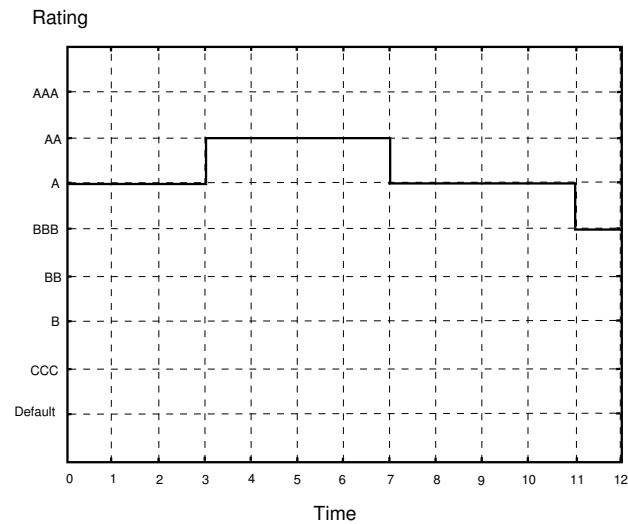


Figura 2.2: Evolución del rating a lo largo del tiempo

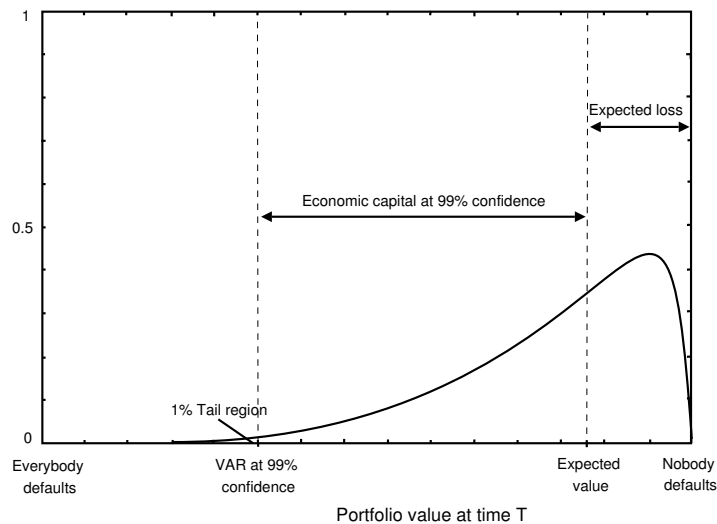


Figura 2.3: Distribución del valor de la cartera y cálculo del VAR



$$M_T = \begin{pmatrix} m_{1,1} & \dots & m_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{n,1} & \dots & m_{n,n} \end{pmatrix}$$

donde cada elemento de la matrix,  $m_{i,j}$  corresponde a la probabilidad de que un cliente con rating  $r_i$  pase a tener, al cabo de  $T$  tiempo, rating  $r_j$ .

### 2.3.2. Ejemplo.

Matriz de transición anual ( $T = 1$  año) extraída del documento *CreditMetrics. Technical Document*. Las probabilidades están expresadas en tanto por ciento.

	AAA	AA	A	BBB	BB	B	CCC	Default
AAA	90,81	8,33	0,68	0,06	0,12	0,00	0,00	0,00
AA	0,70	90,65	7,79	0,64	0,06	0,14	0,02	0,00
A	0,09	2,27	91,05	5,52	0,74	0,26	0,01	0,06
BBB	0,02	0,33	5,95	86,93	5,30	1,17	0,12	0,18
BB	0,03	0,14	0,67	7,73	80,53	8,84	1,00	1,06
B	0,00	0,11	0,24	0,43	6,48	83,46	4,07	5,20
CCC	0,22	0,00	0,22	1,30	2,38	11,24	64,86	19,79
Default	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00

en particular, la probabilidad que un cliente con rating *AA* pase a tener rating *B* al cabo de un año es del 0,14 %.

### 2.3.3. Propiedades

**Propiedad 1.** El valor de los elementos de la matriz de transición se encuentran entre 0 y 1 debido a que son probabilidades.

$$0 \leq m_{i,j} \leq 1 \quad \forall i, j$$

**Propiedad 2.** La suma de los elementos de cualquier fila de la matriz de transición suman 1. De esta forma se está imponiendo que el conjunto de ratings finales solo puede ser el de los ratings contemplados en la matriz.

$$\sum_{j=1}^n m_{i,j} = 1 \quad \forall i$$

**Propiedad 3.** Los elementos de la fila correspondiente al rating *default*, son todos 0, excepto el elemento de la columna que corresponde al rating *default* que vale 1. Esta condición indica que cuando se llega al estado de fallido no es posible salir de este estado.

$$\begin{aligned} m_{default,j} &= 0 & \forall j \neq default \\ m_{default,default} &= 1 \end{aligned}$$

### 2.3.4. Cambio de periodo

Deseamos obtener la matriz de transición para periodos distintos (múltiplos o fraccionarios) del periodo proporcionado,  $T$ . Esto nos permitirá determinar la probabilidad que un cliente con rating inicial  $r_i$  tenga rating  $r_j$  al cabo de  $x \cdot T$  tiempo.

**Ejemplo.** Calculemos la probabilidad de pasar de rating  $AA$  a rating  $B$  en un plazo de dos años disponiendo de la matriz de transición anual.

$$\begin{aligned}
 P(AA \rightarrow B; 2) = & P(AA \rightarrow AAA; 1) \cdot P(AAA \rightarrow B; 1) + \\
 & P(AA \rightarrow AA; 1) \cdot P(AA \rightarrow B; 1) + \\
 & P(AA \rightarrow A; 1) \cdot P(A \rightarrow B; 1) + \\
 & P(AA \rightarrow BBB; 1) \cdot P(BBB \rightarrow B; 1) + \\
 & P(AA \rightarrow BB; 1) \cdot P(BB \rightarrow B; 1) + \\
 & P(AA \rightarrow B; 1) \cdot P(B \rightarrow B; 1) + \\
 & P(AA \rightarrow CCC; 1) \cdot P(CCC \rightarrow B; 1) + \\
 & P(AA \rightarrow default; 1) \cdot P(default \rightarrow B; 1)
 \end{aligned}$$

**Proposición** Sean  $M_{T_1}$  y  $M_{T_2}$  las matrices de transición para los periodos  $T_1$  y  $T_2$ . Entonces, la matriz de transición para el periodo  $T_1 + T_2$  es:

$$M_{T_1+T_2} = M_{T_1} \cdot M_{T_2}$$

**Corolario** Sean  $M_T$  la matriz de transición para el periodo  $T$  y  $k \in \mathbb{N}$ . Entonces:

$$M_{k \cdot T} = M_T^k$$

$$M_{\frac{T}{k}} = \sqrt[k]{M_T}$$

### 2.3.5. Tasa de morosidad anticipada

## 2.4. Matriz de correlación sectorial

## Capítulo 3

# Resolución del problema

### 3.1. Hipotesis

**La única fuente de riesgo es el riesgo de impago.** No se contemplan los riesgos de variación de tipos de interés, etc.

**El tiempo está repartido uniformemente.** blablabla.

**Un fallido no se recupera.** blablabla.

**Las probabilidades de fallido no dependen del tiempo.** blablabla.

**El rating y la recuperación de un cliente no depende de otro cliente.** blablabla.

### 3.2. El método de Monte Carlo

### 3.3. Copulas. Variables aleatorias correlacionadas

**Definición.** Una copula es la función de distribución de un vector aleatorio sobre  $\mathbb{R}^n$  donde las funciones de distribución marginales son  $U[0, 1]$ .

$$C(u_1, \dots, u_n) = P\{U_1 \leq u_1, \dots, U_n \leq u_n\}$$

**Proposición.**  $C$  es una cópula  $\iff C : [0, 1]^n \rightarrow [0, 1]$  y cumple las siguientes propiedades:

- $C(x_1, \dots, x_n)$  es creciente en cada componente  $x_i$
- $C(1, \dots, 1, x_i, 1, \dots, 1) = x_i \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}, x_i \in [0, 1]$
- $\forall (a_1, \dots, a_n) \in [0, 1]^n$  y  $\forall (b_1, \dots, b_n) \in [0, 1]^n$  con  $a_i \leq b_i$  se cumple:

$$\sum_{i_1=1}^2 \dots \sum_{i_n=1}^2 (-1)^{i_1+\dots+i_n} C(x_{1i_1}, \dots, x_{ni_n}) \geq 0$$

siendo  $x_{j1} = a_j$  y  $x_{j2} = b_j \quad \forall j \in \{1, \dots, n\}$

**Generación de cópulas normales o arquimedianas.** Sea  $(Z_1, \dots, Z_n)$  un vector aleatorio con marginales  $Z_i \sim N(0, 1)$  con

$$\Sigma = \begin{pmatrix} 1 & \rho_{12} & \dots & \rho_{1n} \\ \rho_{21} & 1 & \dots & \rho_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{n1} & \rho_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

siendo  $\rho_{ij} = \rho_{ji}$  el coeficiente de correlación entre  $Z_i$  y  $Z_j$ .

Calculamos la raíz de  $\Sigma$  usando el algoritmo de Cholesky. De esta forma obtenemos la matriz triangular inferior

$$B = \begin{pmatrix} b_{11} & 0 & \dots & 0 \\ b_{21} & b_{22} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{pmatrix}$$

que cumple  $B \cdot B' = \Sigma$

Generamos una simulación del vector aleatorio  $Y = (Y_1, \dots, Y_n)'$  donde  $Y_k \sim N(0, 1)$  son variables aleatorias independientes.

Calculamos  $Z = B \cdot Y$ . El vector aleatorio resultante,  $Z$  tiene marginales  $Z_k \sim N(0, 1)$  y se encuentran correlacionadas según la matriz  $\Sigma$ .

Calculamos  $X = (X_1, \dots, X_n)'$  de la forma:

$$x_i = \Phi^{-1}(y_i)$$

donde  $\Phi(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2} dt$

## **Capítulo 4**

# **Implementación de la solución**



# Capítulo 5

## Apéndices

### 5.1. Cálculo de la raíz de una matriz

**Definición.** Diremos que 2 matrices  $A$  y  $B$  de orden  $n$  son semejantes si existe una matriz,  $P$ , de orden  $n$  con  $\det(P) \neq 0$  tal que  $B = P^{-1} \cdot A \cdot P$ .

**Proposición.** Si dos matrices  $A$  y  $B$  son semejantes ( $B = P^{-1} \cdot A \cdot P$ ) entonces:

$$\det(A) = \det(B)$$

$$B^n = P^{-1} \cdot A^n \cdot P$$

**Definición.** Diremos que Una matriz  $A$  de orden  $n$  es diagonalizable si es semejante a una matriz diagonal  $D$ , o sea,  $A = P^{-1} \cdot D \cdot P$  siendo  $\det(D) \neq 0$ .

**Proposición.** Para que una matriz  $A$  sea diagonalizable es necesario y suficiente que:

- Los valores propios de  $A$  sean todos reales
- Los  $n$  vectores propios de  $A$  sean independientes

**Proposición.** Si una matriz  $A$  es diagonalizable ( $A = P^{-1} \cdot D \cdot P$ ) entonces:

- $D$  es una matriz diagonal compuesta por los valores propios de la matriz  $A$
- $P$  es la matriz formada por los vectores propios de la matriz  $A$

**Resultado.** Sea  $A$  la raíz  $n$ -ésima de una matriz diagonalizable  $B$ . Entonces:

$$A^n = B = P^{-1} \cdot D \cdot P \implies A = \sqrt[n]{B} = P^{-1} \cdot \sqrt[n]{D} \cdot P$$

### 5.2. La variable aleatoria normal

#### 5.2.1. Definición y propiedades

$$P(X \leq x) = \Phi(x) = \int_{-\infty}^x \frac{e^{-t^2}}{\sqrt{2\pi}} dt$$

### 5.2.2. Simulación

Para la generación de una realización,  $z$ , de una variable aleatoria normal  $Z \sim N(\mu, \sigma)$  utilizamos el siguiente algoritmo:

$$z = \mu + \sigma \cdot \sqrt{-2 \cdot \ln(u[0, 1])} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot u[0, 1])$$

donde  $u[0, 1]$  son realizaciones de una variable aleatoria uniforme en el intervalo  $[0, 1]$ .



# Bibliografía

- [1] J.M. Aitchison. Percolation in gently sloping beaches. *IMA J. Appl. Math.*, 33:17–31, 1984.
- [2] L. Cummings. The three cylinder problem in Hele–Shaw flow. private communication, 1997.