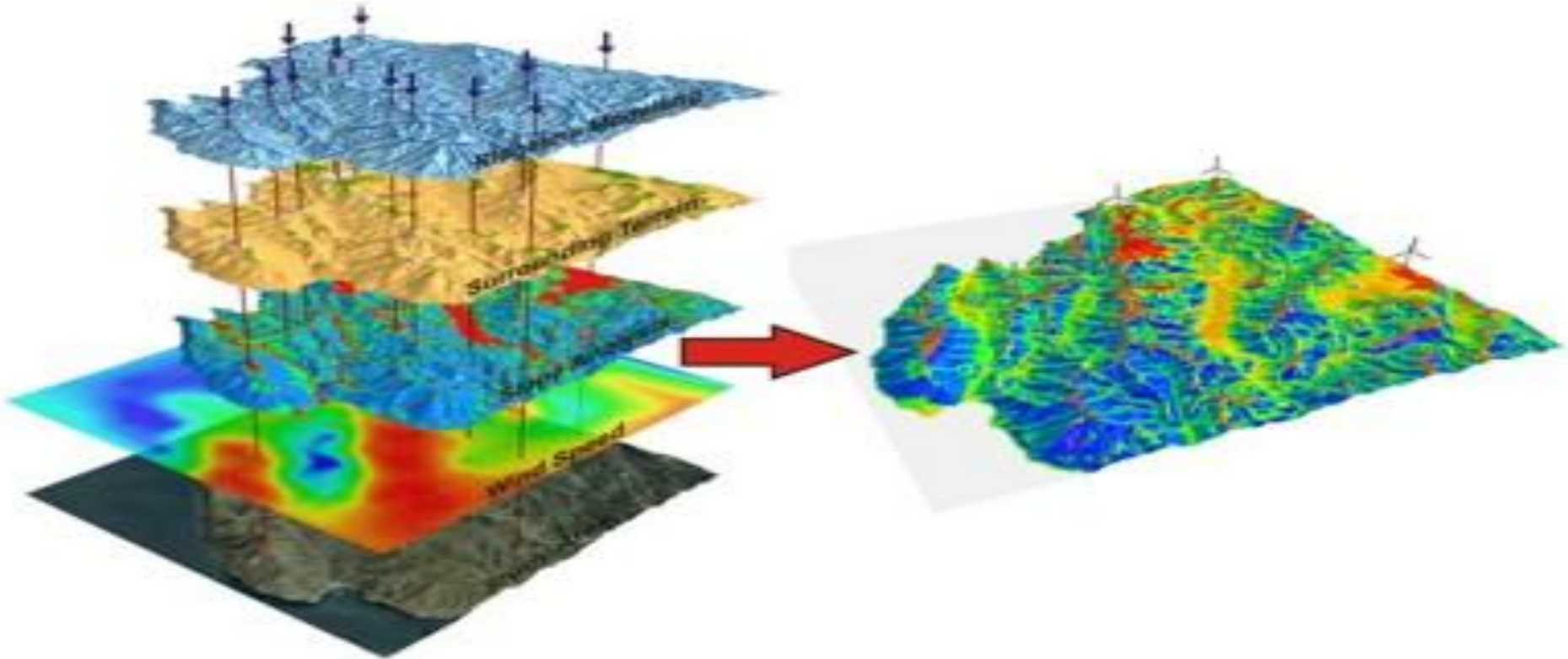


# Seminario “Valorización de Propiedades Mineras”

COMISIÓN CALIFICADORA DE COMPETENCIAS EN RECURSOS Y RESERVAS MINERAS 270612



Modelos Predictivos para Explorar y Valorizar una Cartera Distrital

# Introducción



- ❑ El negocio de la exploración: tarea compleja que requiere innovación
- ❑ Lentos avances en hallazgos; valorizar activos inciertos
- ❑ Técnicas geoquímicas y geofísicas de avanzada.
- ❑ "Blancos" : fase clave para el éxito. La "clusterización" de ocurrencias
- ❑ ***Estrategia: Aumentar la favorabilidad para hallar "blancos exitosos" e incorporar escenarios de esa favorabilidad desde el punto de vista técnico, económico y financiero.***
- ❑ ***Aumentando la probabilidad de hallar ocurrencias mineralizadas: Modelos predictivos cuantitativos que develan fenómenos naturales ocultos en superficie.***
- ❑ ***Aproximada la incertidumbre geológica, aproximar la incertidumbre financiera del negocio.***

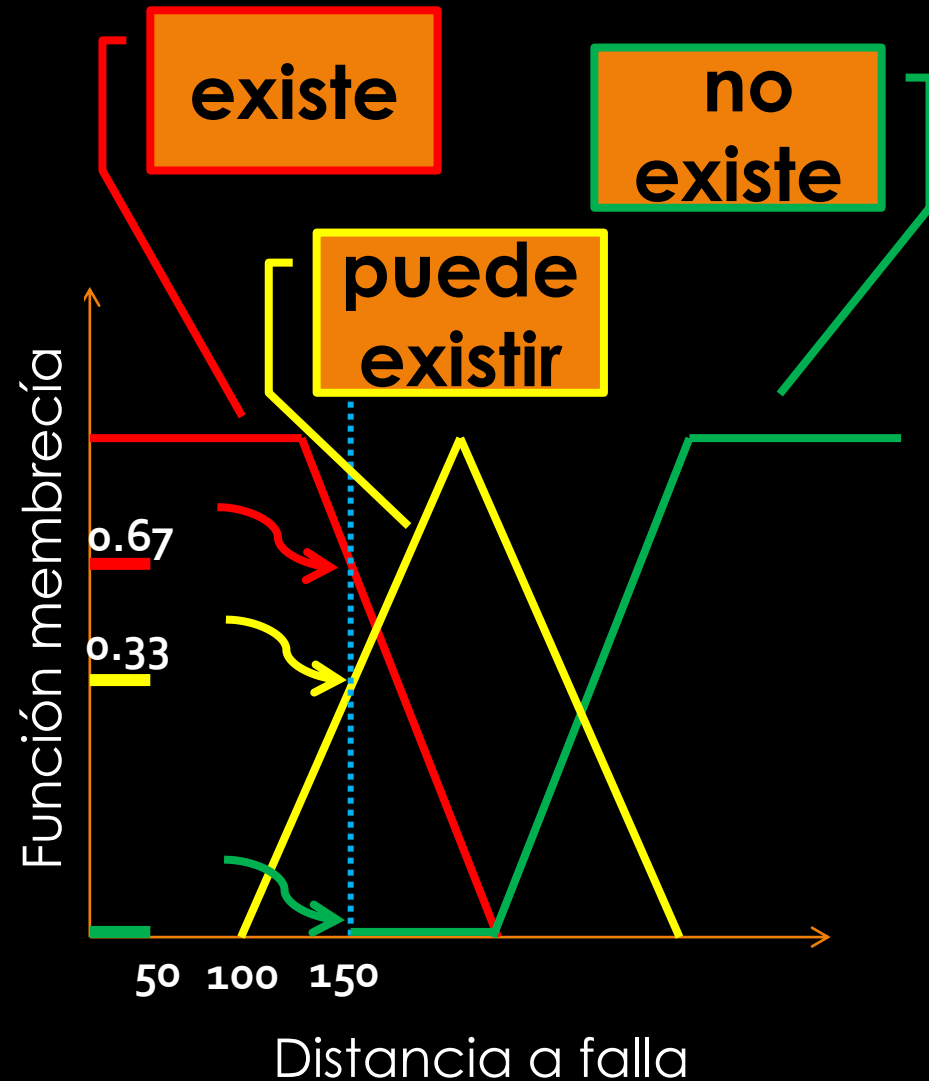
# Objetivos Específicos

- ❑ Integrar y superponer datos mineros caracterizados por ubicación espacial y por atributos
- ❑ Capturar, administrar, manipular, analizar, y proporcionar resultados sobre la base de datos o sobre la base de conocimiento experto: GIS.
- ❑ Dos tipos de técnicas:
  - En base a conocimiento experto:
    - Lógica Difusa,
  - en base a datos cuantitativos:
    - Evidencias Cuantificables,
    - Redes Neuronales;
    - Regresiones Multivariantes
- ❑ Evaluar recursos a nivel distrital, identificar potencial, y definir **cartera de activos**. Acotado el riesgo geológico, abrir y analizar **escenarios de potencial económico-financiero**



# Lógica Difusa (Fuzzy Logic)

- Propósito: Modelar la incertidumbre de apreciaciones subjetivas imprecisas sobre la existencia de depósitos mineros en una región (existe, puede existir, no existe) como resultado de un atributo (distancia a una falla, por ejemplo). La métrica asociada con las diferentes apreciaciones se aplica sobre una función denominada de "membrecía" que expresa la significancia del atributo respecto a cada una de esas apreciaciones. Con una basta base de datos y varios atributos geológicos se posibilita relevar, combinar, integrar y medir la significancia de algunos de ellos en la ocurrencia del tipo de depósito bajo estudio.



# Evidencias Cuantificables *(Weight of Evidence)*

□ Propósito: En una región tomada como piloto en la cual se dispone de varios depósitos mapeados en una malla de bloques unitarios se determinan dos probabilidades en contexto Bayesiano: probabilidad de presencia ( $W^+$ ) y probabilidad de ausencia ( $W^-$ ) de depósitos de cierto tipo de acuerdo a un atributo característico. La diferencia entre estas dos probabilidades marca el contraste  $C$  asociado a ese atributo en esa región a nivel de área unitaria. Si son varios los atributos bajo análisis, serán varios las **funciones contrastes** vinculadas a la existencia de los depósitos de interés. Una combinación de estos contrastes y selección de “contrastes de corte” permiten medir la favorabilidad/desfavorabilidad de encontrar nuevos depósitos de ese tipo en otras regiones similares.

Atributo 1

D m	A m <sup>2</sup>	p	W <sup>+</sup>	W <sup>-</sup>	C
0.5	30	10	1.3	-0.5	0.8
<b>1.5</b>	<b>78</b>	<b>29</b>	<b>1.1</b>	<b>-0.1</b>	<b>1.0</b>
2.5	55	21	0.9	-0.09	0.5
---					

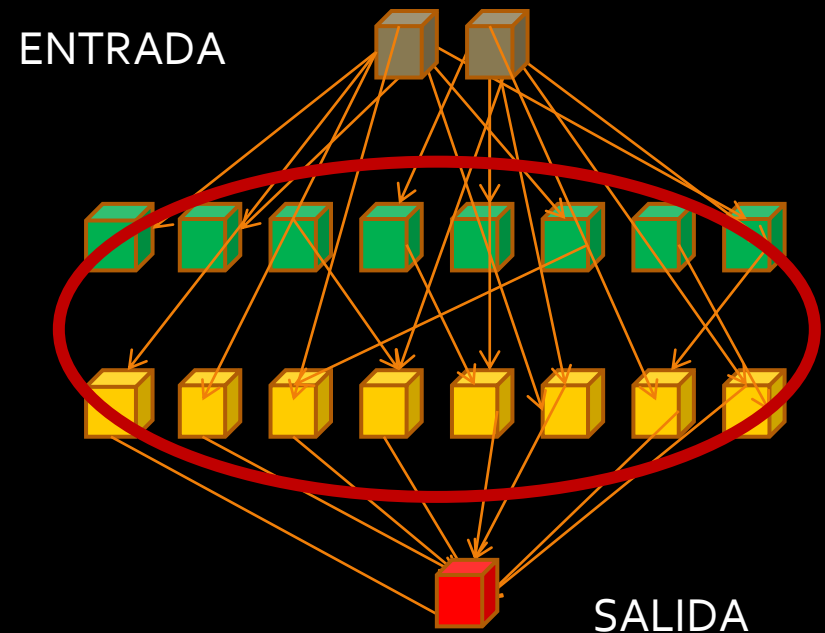
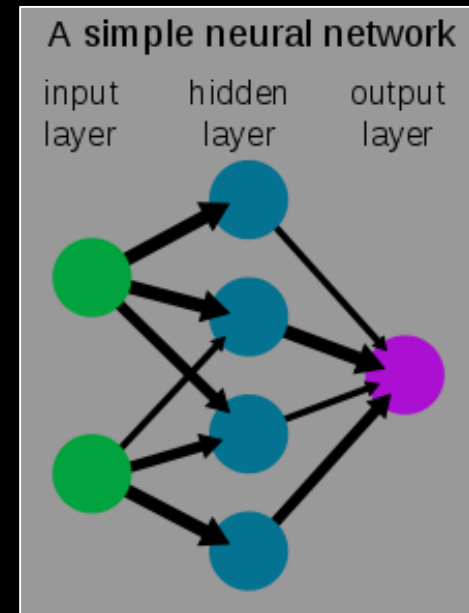
Atributo 2

D m	A m <sup>2</sup>	p	W <sup>+</sup>	W <sup>-</sup>	C
<b>0.1</b>	<b>60</b>	<b>22</b>	<b>1.7</b>	<b>-0.2</b>	<b>1.5</b>
0.2	48	23	1.5	-0.5	1.0
0.3	35	20	1.4	-0.3	1.1
---					

# Redes Neuronales

*(Neural Networks)*

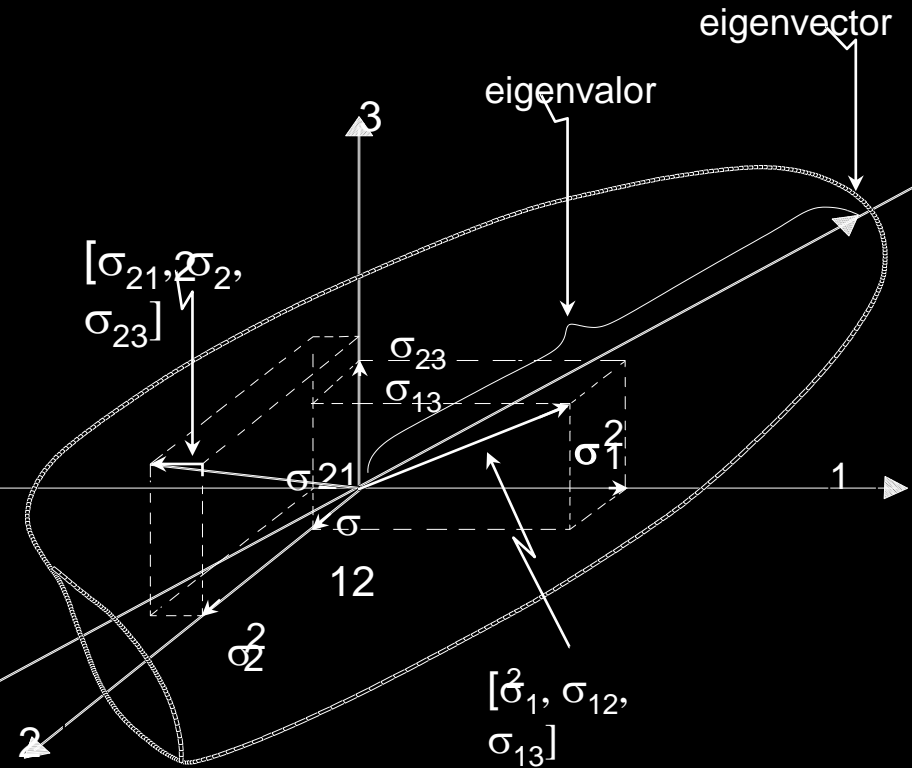
- Propósito: Encuentra patrones de ocurrencia en forma inductiva en base a algoritmos de aprendizaje basados en los datos disponibles. La base es un modelo de conectividad entre neuronas (sinápsis) que reciben señales de entrada de otras neuronas. Esta conectividad permite analizar información, por ejemplo de naturaleza geológica, a fin de discriminar sus atributos esenciales para interpretar y desentrañar las relaciones entre las redes neuronales establecidas.



# Regresión Multivariable

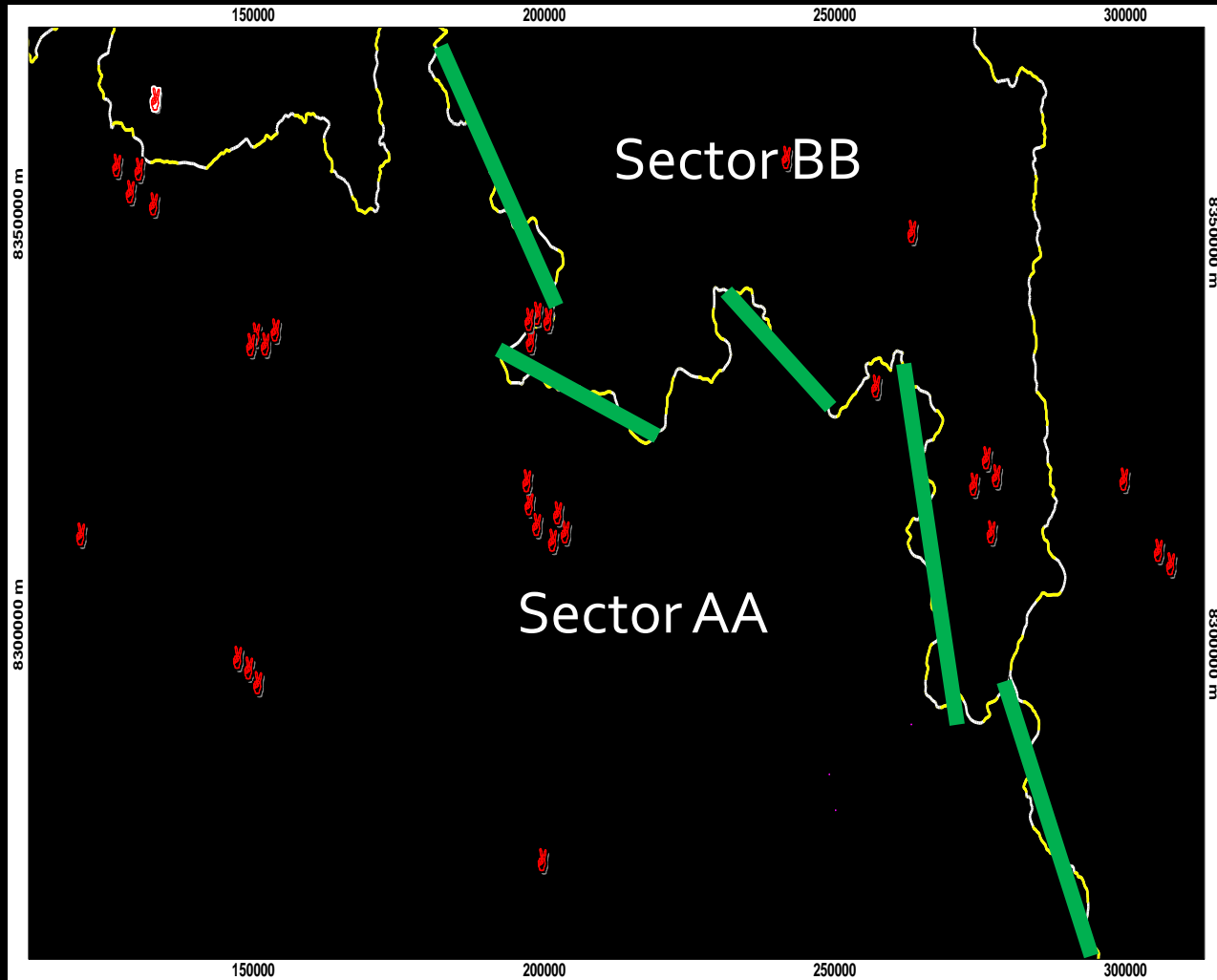
(Multivariate regression)

- Propósito: Determina la interrelación entre datos de igual naturaleza sobre la base de su ubicación geográfica y sus atributos multivariables. La base es la manipulación estadística. Se determinan matrices de correlación las que permiten establecer una función, compuesta de un conjunto de variables, que sirve para discriminar los lugares geográficos que responden de manera similar frente a esa función. El sistema puede proponer diversas funciones jerárquicas para efectos de visualización y selección.



# Distritos Mineros

30 puntos de observación al azar en AA y BB, y sus atributos





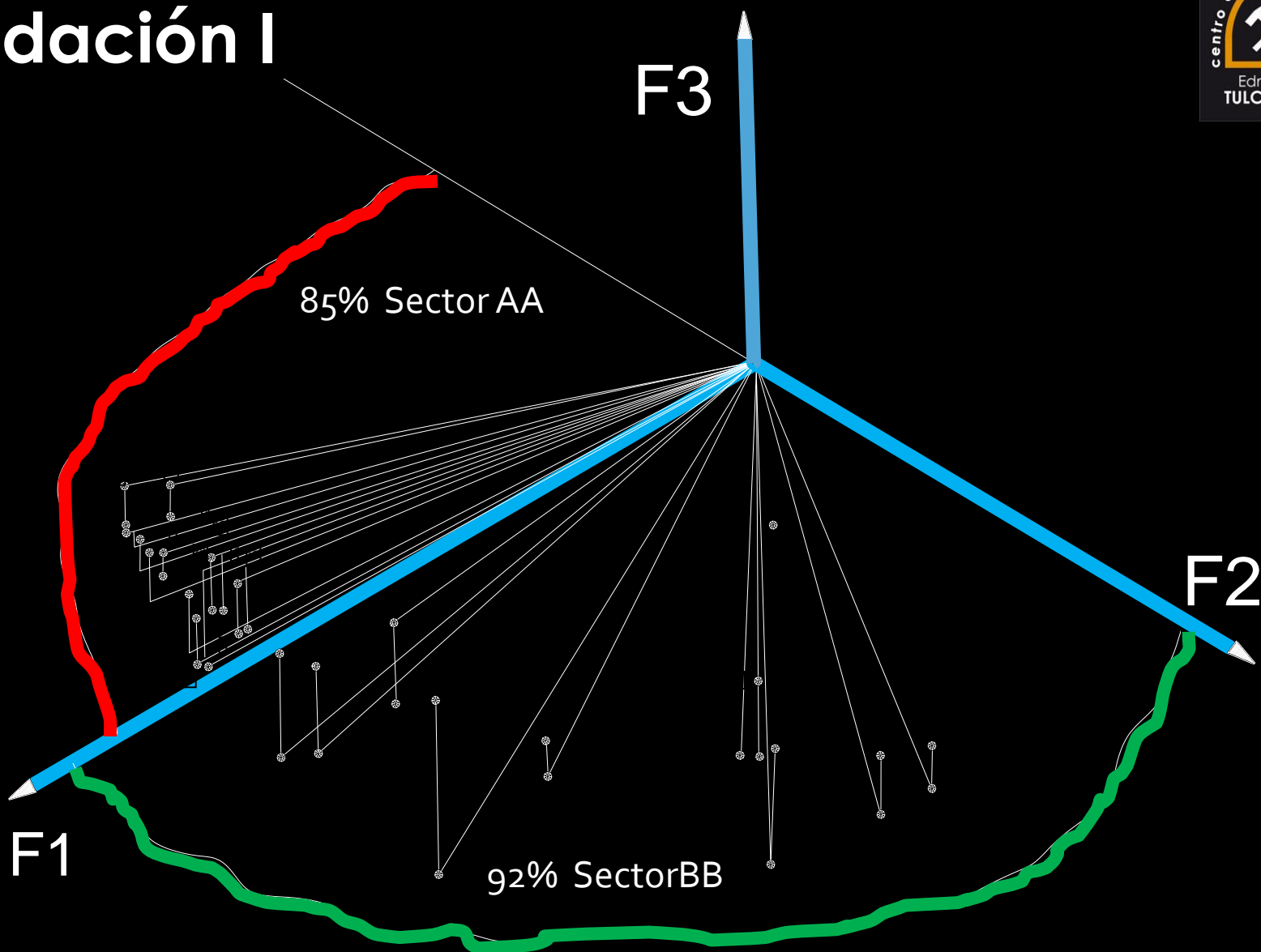
# Datos de Entrada

30 puntos de observación al azar en AA y BB, y sus atributos

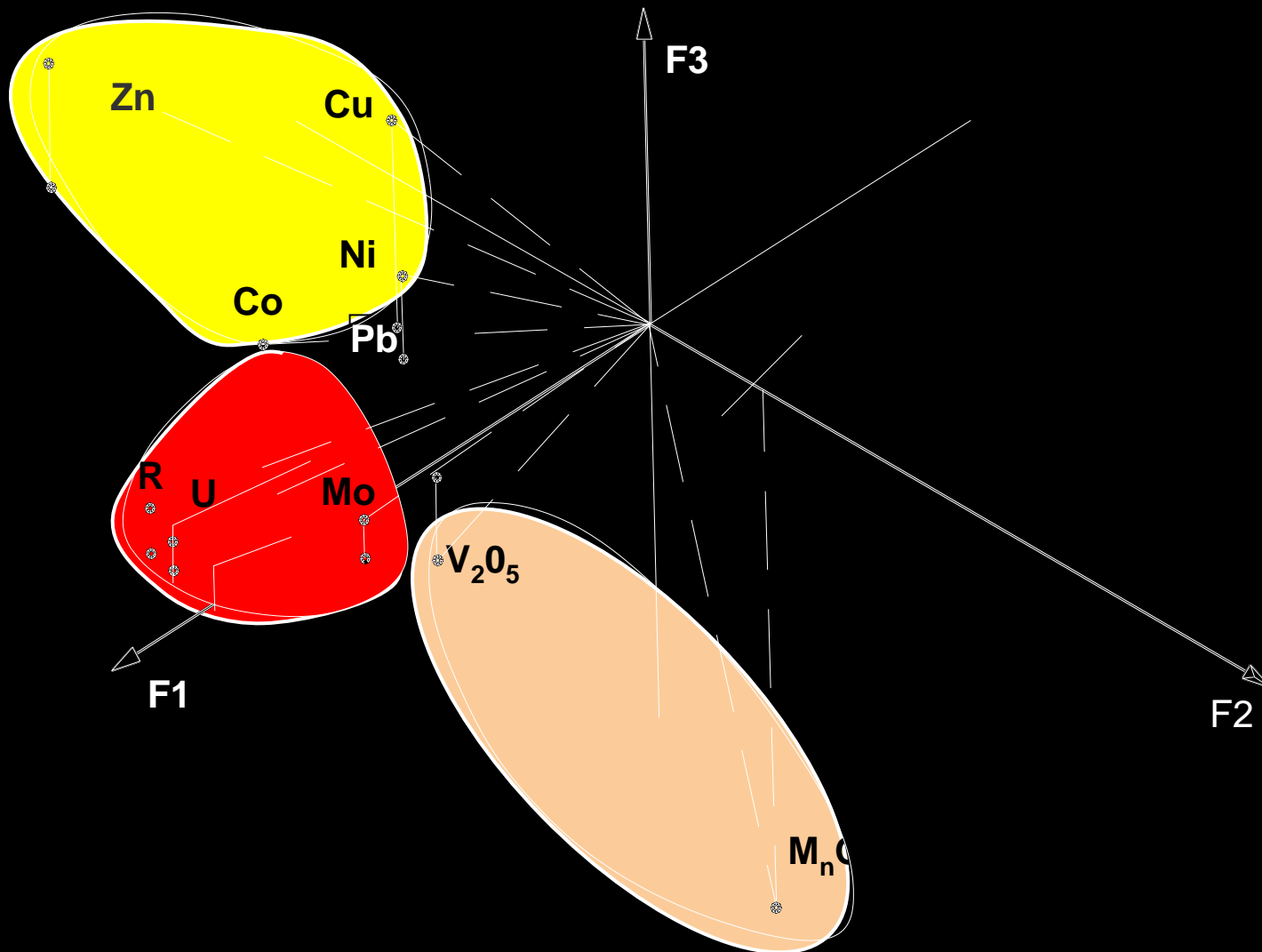
Tabla 1.12  
TABLA DE DATOS ORIGINALES

	RADIOANL	U	CU	MN <sub>02</sub>	V <sub>205</sub>	NI	CO	MO	ZN	PB
MUESTRA 1	0.4600	0.6300	0.0300	0.1300	0.0240	0.0070	0.0030	0.0400	0.0130	0.0180
MUESTRA 2	0.4400	0.5800	0.1500	0.2300	0.0490	0.0100	0.0050	0.2200	0.0140	0.5000
MUESTRA 3	6.1800	0.2600	0.1400	0.1600	0.0500	0.0080	0.0030	0.0380	0.0120	0.2100
MUESTRA 4	0.0150	0.0170	0.1000	1.9100	0.0130	0.0070	0.0030	0.0180	0.0200	0.0900
MUESTRA 5	4.4000	5.5700	0.1500	0.5300	0.0770	0.0060	0.0180	0.6000	0.0860	0.6900
MUESTRA 6	0.2300	0.3300	0.0200	1.4200	0.0580	0.0020	0.0050	0.0600	0.0270	0.2700
MUESTRA 7	0.4100	0.5800	0.0900	0.5200	0.0750	0.0110	0.0050	0.1800	0.0300	0.2400
MUESTRA 8	0.5800	0.6600	0.0800	0.5900	0.0300	0.0080	0.0050	0.0720	0.0230	0.1000
MUESTRA 9	0.0520	0.0670	0.0300	4.7700	0.0280	0.0090	0.0030	0.0620	0.0190	0.1100
MUESTRA 10	0.0760	0.0840	0.0300	0.7500	0.0460	0.0080	0.0030	0.0600	0.0220	0.1400
MUESTRA 11	0.7000	0.7900	0.8700	0.0800	0.0350	0.0220	0.0170	0.5600	0.1900	1.0700
MUESTRA 12	1.8000	1.9500	0.1400	0.0600	0.0320	0.0110	0.0080	0.4300	0.0560	0.3500
MUESTRA 13	0.0340	0.0330	0.1100	0.0300	0.0170	0.0070	0.0030	0.0400	0.0620	0.1300
MUESTRA 14	0.6300	0.7200	0.1900	0.0700	0.0180	0.1600	0.0120	0.1400	0.1600	0.5200
MUESTRA 15	0.0120	0.0090	0.0300	0.1100	0.0200	0.0090	0.0030	0.0060	0.1100	0.0800
MUESTRA 16	1.3000	1.5900	0.2300	0.0800	0.0410	0.0390	0.0210	0.3100	0.0880	0.6100
MUESTRA 17	3.7000	4.5900	0.0900	0.4500	0.0630	0.0220	0.0070	0.4200	0.0200	0.4100
MUESTRA 18	0.4100	0.5000	0.0900	2.0100	0.0330	0.0090	0.0030	0.0580	0.0460	0.1600
MUESTRA 19	3.3000	3.6100	1.0700	0.1800	0.0720	0.0350	0.0400	0.2200	0.1100	0.5300
MUESTRA 20	0.2600	0.2800	0.2200	0.0900	0.0320	0.0090	0.0030	0.0540	0.0440	0.0800
MUESTRA 21	0.4600	0.5800	0.9500	0.1100	0.0460	0.0180	0.0180	0.2100	0.0920	0.3200
MUESTRA 22	1.5000	1.1500	0.6200	0.0400	0.0420	0.0180	0.0160	0.1500	0.0820	0.4500
MUESTRA 23	0.1100	0.1100	0.4600	0.0200	0.0300	0.0140	0.0060	0.0700	0.0760	0.1200
MUESTRA 24	2.3000	2.7900	1.1600	0.0200	0.0340	0.0160	0.0160	0.2200	0.0890	0.6100
MUESTRA 25	3.0000	3.7000	0.8900	0.4800	0.0750	0.0530	0.0500	0.8400	0.1000	0.6100
MUESTRA 26	0.7500	1.1000	0.3200	0.1600	0.0480	0.0170	0.0120	0.1700	0.0450	0.1200
MUESTRA 27	0.2300	0.2900	0.1000	0.0900	0.0320	0.0090	0.0030	0.0920	0.0410	0.0700
MUESTRA 28	3.0000	2.49000	0.1600	0.4600	0.0570	0.0160	0.0130	0.1400	0.1600	0.2800
MUESTRA 29	1.3000	1.3700	0.4300	0.3100	0.0560	0.0190	0.0050	0.1700	0.1600	0.8400
MUESTRA 30	5.7000	6.3600	0.8500	0.0800	0.0710	0.0410	0.0180	0.9500	0.084	1.6300

# Validación I

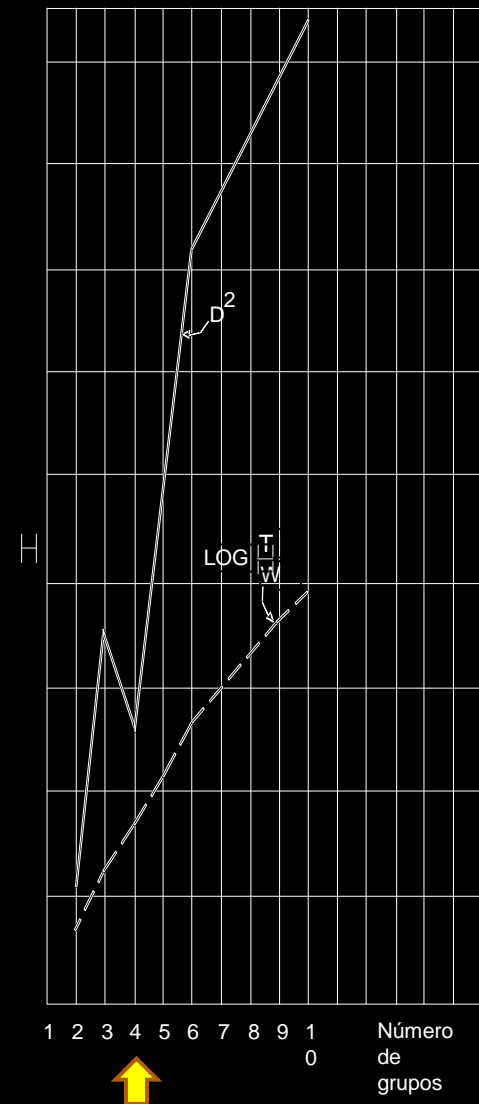
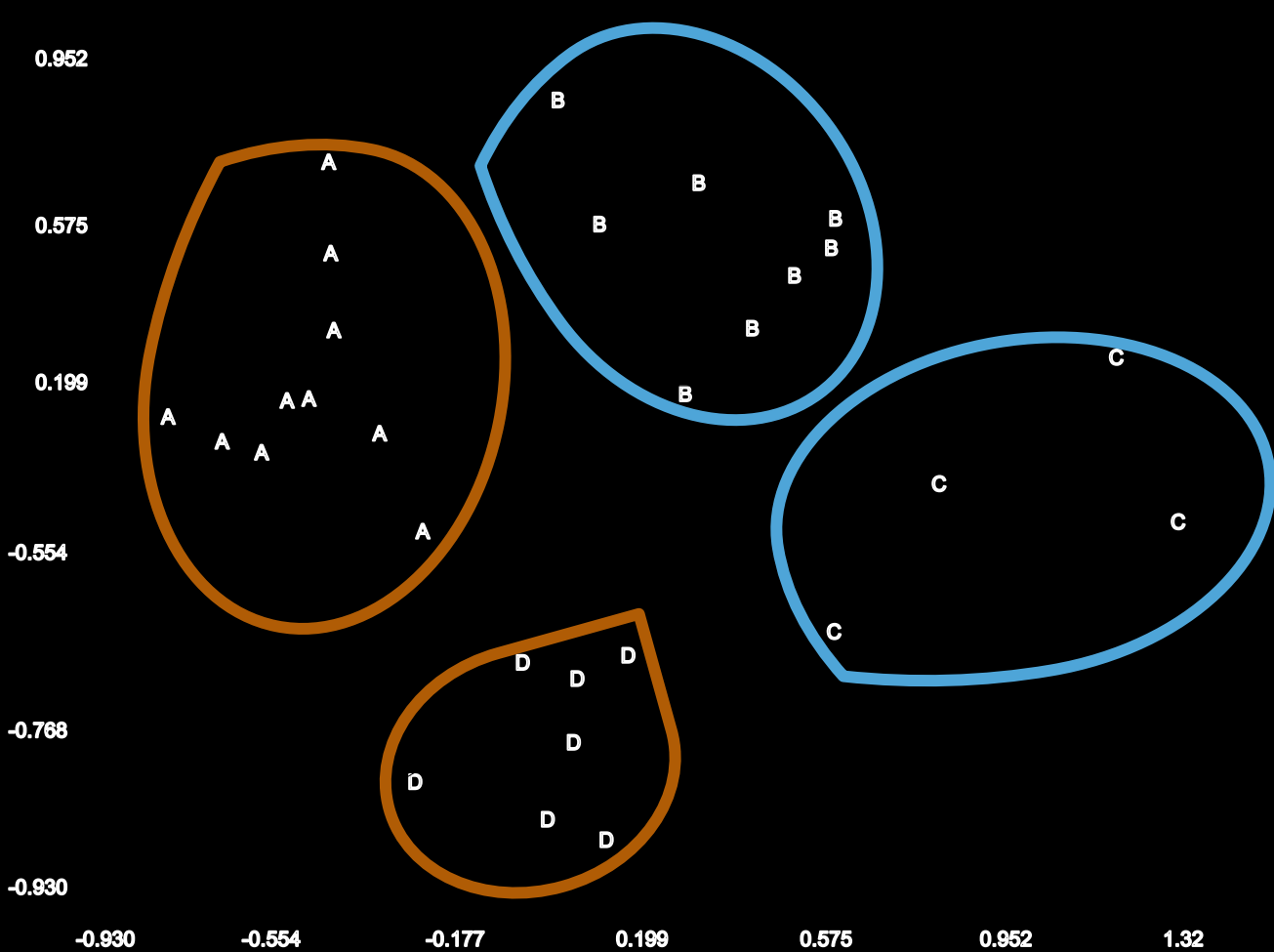


# Validación II



# Discriminación de Sectores

4 GRUPOS

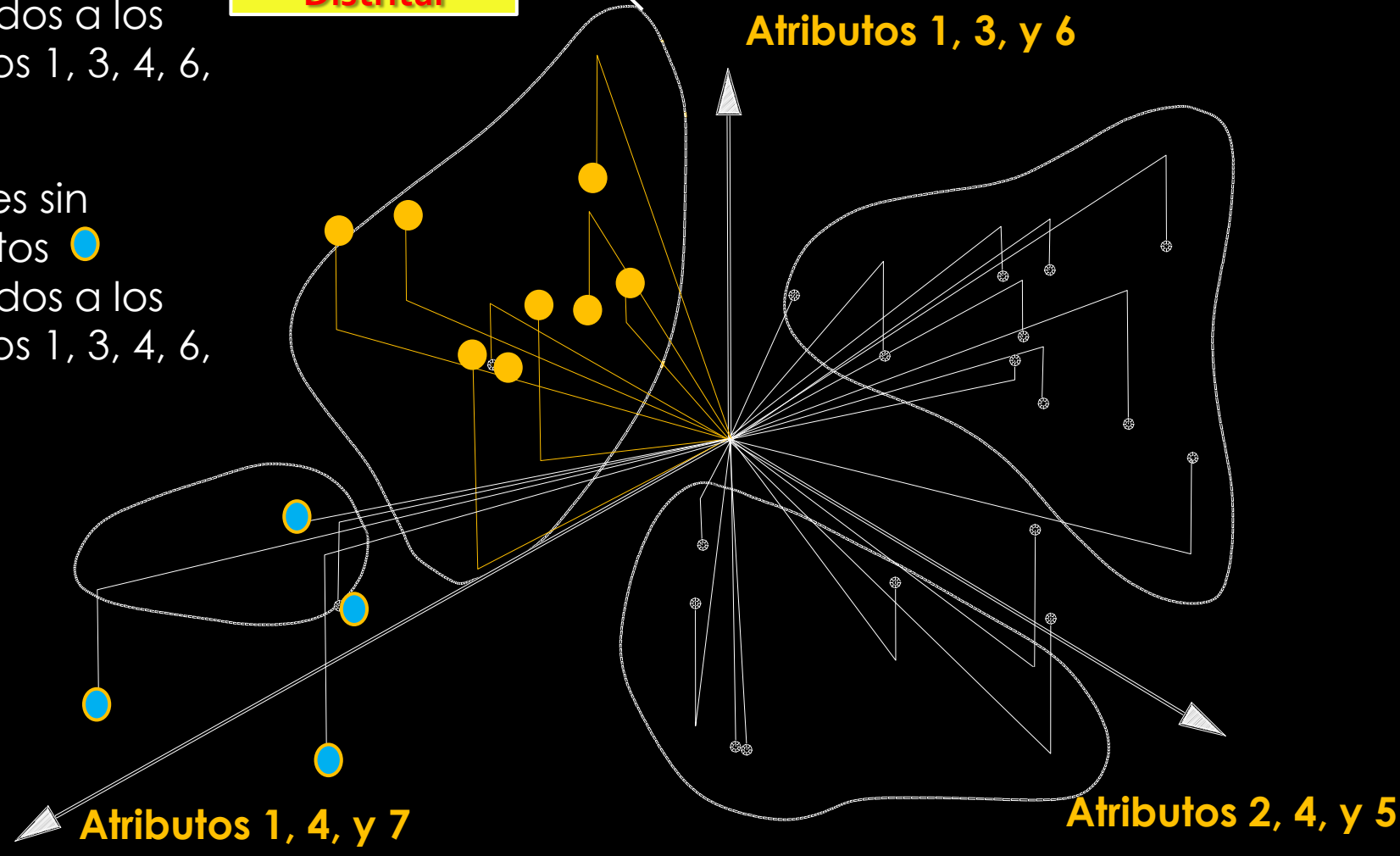


# Visualización de Sectores Discriminados

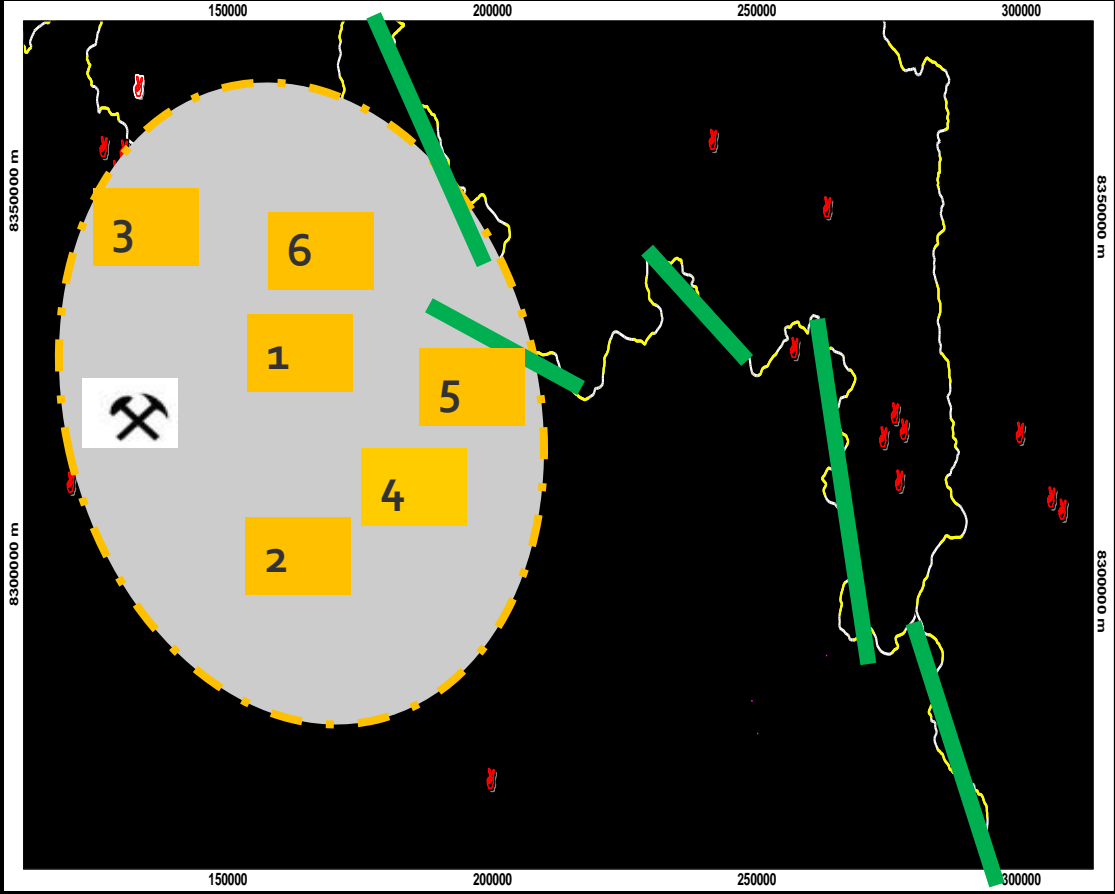
Depósitos ● están más asociados a los atributos 1, 3, 4, 6, y 7.

Sectores sin depósitos ● están asociados a los atributos 1, 3, 4, 6, y 7.

**Región para  
Cartera  
Distrital**



# Resultado de una Exploración

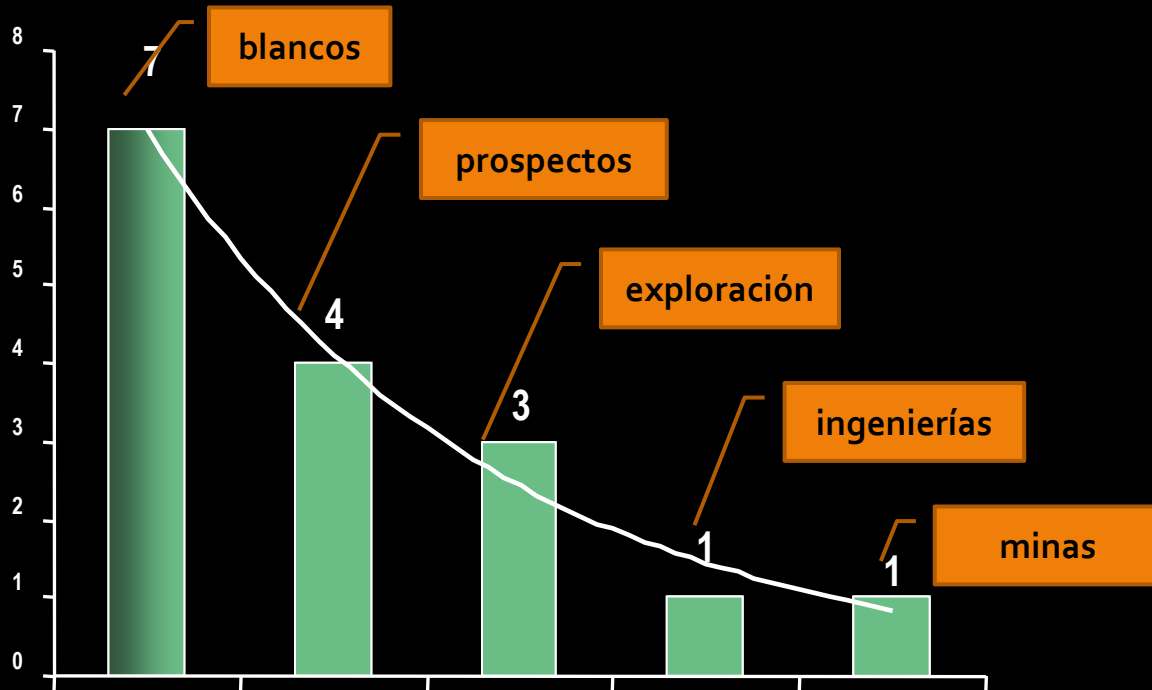


Mina



ocurrencias asociadas a los atributos 1, 3, 4, 6, y 7.

# Probabilidad de Ocurrencia



Minas / Blancos: =  
1 / 7

14% de los blancos

- ⌘ 10 MT @ 1.21% CuT
- ① 2.75 Mt en cinco años)  
5 MT @ 0.83% CuT
- ② 3 MT @ 0.57% CuT
- ③ 9 MT @ 0.56% CuT
- ④ 22MT @ 0.49% CuT
- ⑤ 8 MT @ 0.36% CuT
- ⑥ 3 MT @ 0.30% CuT

**8.5 Mtons por depósito**

# Escenarios de Favorabilidad

*.... si los datos de la lámina se toman como modelo de ocurrencias de prospectos y minas factibles, la pregunta podría ser ¿ valdrá la pena extender el área del distrito en un 30% aumentando los gastos de exploración en un 50KUF o, por el contrario, limitar los estudios en el distrito en un 10% ahorrando 25kUF ?*



# Criterio Predictivo del Recurso Base

Número de depósitos: 7  
 Valor del Cluster 150.000 UF \$  
 Valor derechos sobre propiedad 100.000 UF\$  
 Volatilidad 25% anual

**Ampliar o Limitar la exploración??.**

*.... supongamos que el margen de utilidad varía de acuerdo a la tabla de abajo a través del tiempo.....*

## Variación Anual del Margen de Utilidad por lb de

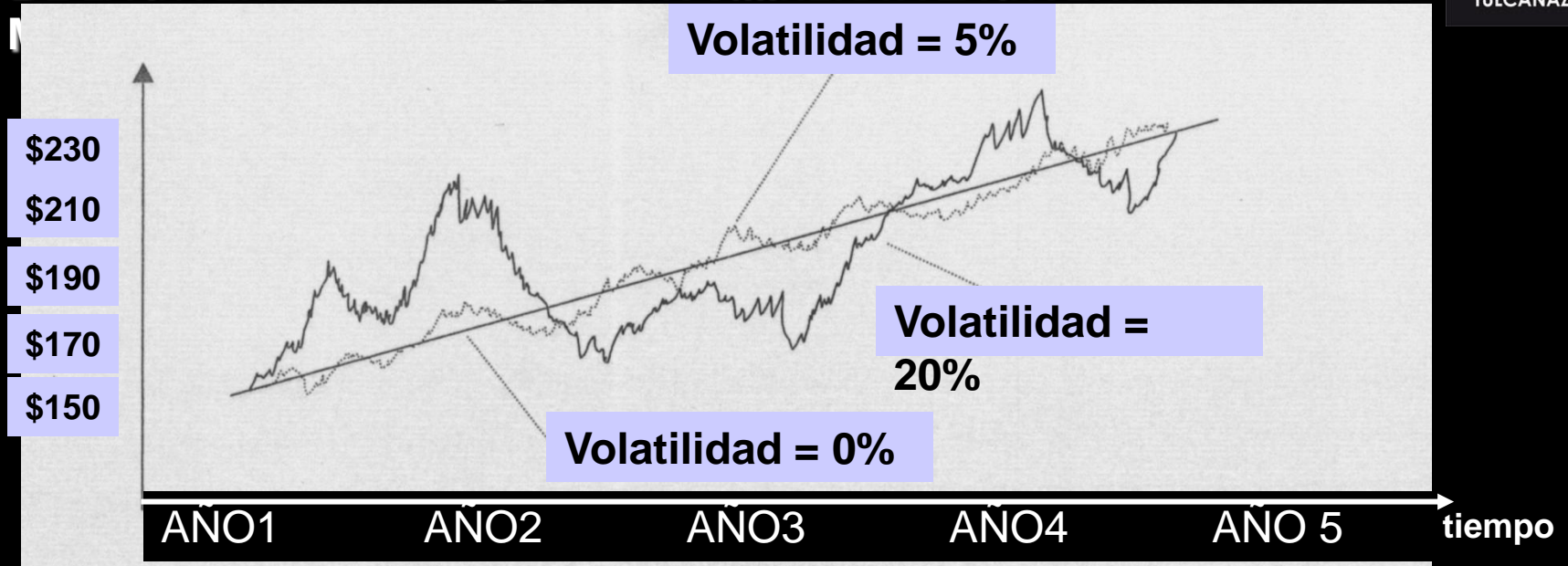
AÑOS	0	1	2	3	4	5
US\$/lb	1.25	1.35	1.30	1.27	1.23	1.20

*.... La variación anterior impacta de igual modo la variación anual del valor total del cluster tal como lo muestra la tabla de abajo.....*

## Variación Anual del Valor del Cluster Distrital

\$ / AÑOS	0	1	2	3	4	5
Miles UF	150	175	143	158	233	218

## DE LA INCERTIDUMBRE GEOLOGICOMINERA A LA INCERTIDUMBRE DEL



### Movimiento Exponencial Browniano (MEB):

$$\delta S/S = \exp [\mu (\delta t)] \exp [\sigma \varepsilon \sqrt{\delta t}]$$

$\mu$  tasa promedio de crecimiento

$\delta t$  tiempo entre períodos

$\sigma$  volatilidad de los logaritmos naturales de los retornos

$\varepsilon$  valor simulado de una distribución N (0,1)

.... el tipo de variación como las ya referidas se pueden modelar de acuerdo a un movimiento exponencial Browniano....

## Bases resumidas para una Aplicación

*...una de las aplicaciones financieras es la valorización mediante **nodos binomiales**: se valoriza la evolución del valor del activo en el tiempo. Año a año, por ejemplo. Para ello cada valor alcanzado por un activo se obtiene multiplicando el valor anterior por un factor de crecimiento y otro de decrecimiento. Esto para un período comprometido que incluye periodos parciales. El valor de pasar entre dos periodos parciales es función de la probabilidad de riesgo neutral.*

### RESOLVER LAS ECUACIONES DE NODOS BINOMIALES:

Coeficientes incrementales:

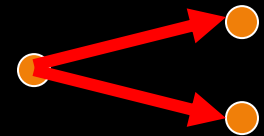
$$u = \exp(\sigma\sqrt{\delta t})$$

Coeficiente decrementales:

$$d = \exp(-\sigma\sqrt{\delta t})$$

Probabilidad de riesgo neutral:

$$p = \{\exp[r_f(\delta t)] - d\} / (u - d)$$



## APLICACION

**Extender exploración distrital proyecta aumentar el valor en 30% el valor del depósito a un costo adicional de 50MUS\$.**

**Acotar la exploración distrital proyecta disminuir el valor en 10% el valor del depósito con un ahorro de 25MUS\$.**

**Los derechos del proyecto se valorizan en 100MUS\$.**

**El valor del negocio hoy , a una tasa de mercado, es 150.000UF \$**

**La volatilidad de los de los retornos logarítmicos es  $\sigma = 25\%$**

**La tasa libre-de-riesgo es 5%**

**La venta por los derechos de la propiedad: 100.000 UF \$.**

**¿Cuales son las opciones y cuanto valen ellas si estas pueden detenerse en cualquier momento?**

## EVOLUCIÓN DEL ACTIVO SUBYACENTE

**Se calcula la evolución del valor del activo**

Valor residual : 100.000 UF\$

$S = 150\text{MUF\$}$ ;  $\sigma = 0.25$

$t = 5$  ;  $r_f = 0.05$

$\Delta t = 2 \text{ años} / 5 \text{ pasos} = 0.4$

$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} = 1.171$

$d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} = 0.854$

$p = [e^{r_f(\Delta t)} - d] / (u - d) =$   
 $= 0.524$

	So	Sou	Sou <sup>2</sup>	.....	....	330.2
					282.1	
				240.9		240.9
			205.7		205.7	
		175.7		175.7		175.7
	150.0		150.0		150.0	
		128.1		128.1		128.1
			109.4		109.4	
				93.4		93.4
					79.8	
	So	Sod	Sod <sup>2</sup>	.....	..	68.1

# MATRIZ DE EVALUACIÓN DE LA OPCIÓN

OPCIONES:

**Vender derechos**

100 MUF\$

**Decidir ampliar distrito**

30% más con 50MUF\$ más.

**Decidir reducir distrito**

10% menos con 25M\$ menos

**Continuar captura de datos**

$$p = [e^{rf(\Delta t)} - d] / (u - d) =$$

La opción de no tomar una decisión antes del quinto año sino de capturar datos hasta esa fecha alcanza un valor a 162.8MUF \$, La ganancia de tomar esa opción entonces es

$$162.8\text{MUF } \$ - 150.0\text{MUF}\$ =$$

12.8MUF\$,

	So	Sou	Sou <sup>2</sup>	.....	..	100
				$[379.3p + (1-p)241.8]e^{-rf \Delta t}$		330.2x1.3 -50 330.2x0.9+25 <b>379.3</b>
				max [100, 307.6, 316.7, 278.8]	<b>316.7</b>	
					<b>264.0</b>	240.9x1.3-50 240.9x0.9+25 <b>241.8</b>
			<b>222.5</b>		<b>217.4</b>	
		<b>189.4</b>		<b>186.3</b>		175.7x1.3-50 175.7x0.9+25 <b>183.1</b>
	<b>162.8</b>		<b>161.1</b>		<b>160.0</b>	
		<b>140.5</b>		<b>140.3</b>		128.1x1.3-50 128.1x0.9+25 <b>140.3</b>
			<b>123.9</b>		<b>123.5</b>	
				<b>111.3</b>		93.4x0.9+25 <b>109.1</b>
					<b>102.7</b>	
	<b>Sod</b>	<b>Sod</b>	<b>Sod<sup>2</sup></b>	<b>.....</b>	<b>..</b>	<b>100.</b>

¿ Preguntas?