



# **INTELIGENCIA ARTIFICIAL**

Universidad Nacional Mayor de San  
Marcos

Facultad de Ingeniería de Sistemas e  
Informática

Ing. Mg. Rolando A. Maguiña Pérez

# Agenda

## ❖ Metodologías para el desarrollo de SBC

## ❖ V&V de SE

- Verificación de SE
  - Fundamentos, tareas
- Validación de SE
  - Fundamentos, personal involucrado, partes a validar, casuística

## ❖ Métodos cuantitativos de validación

- Medidas de pares
- Ratios de acuerdo

# Ingeniería de Conocimiento

## Metodologías para el desarrollo de SBC

- ❖ KADS
- ❖ CommonKADS
- ❖ IDEAL
- ❖ FASE

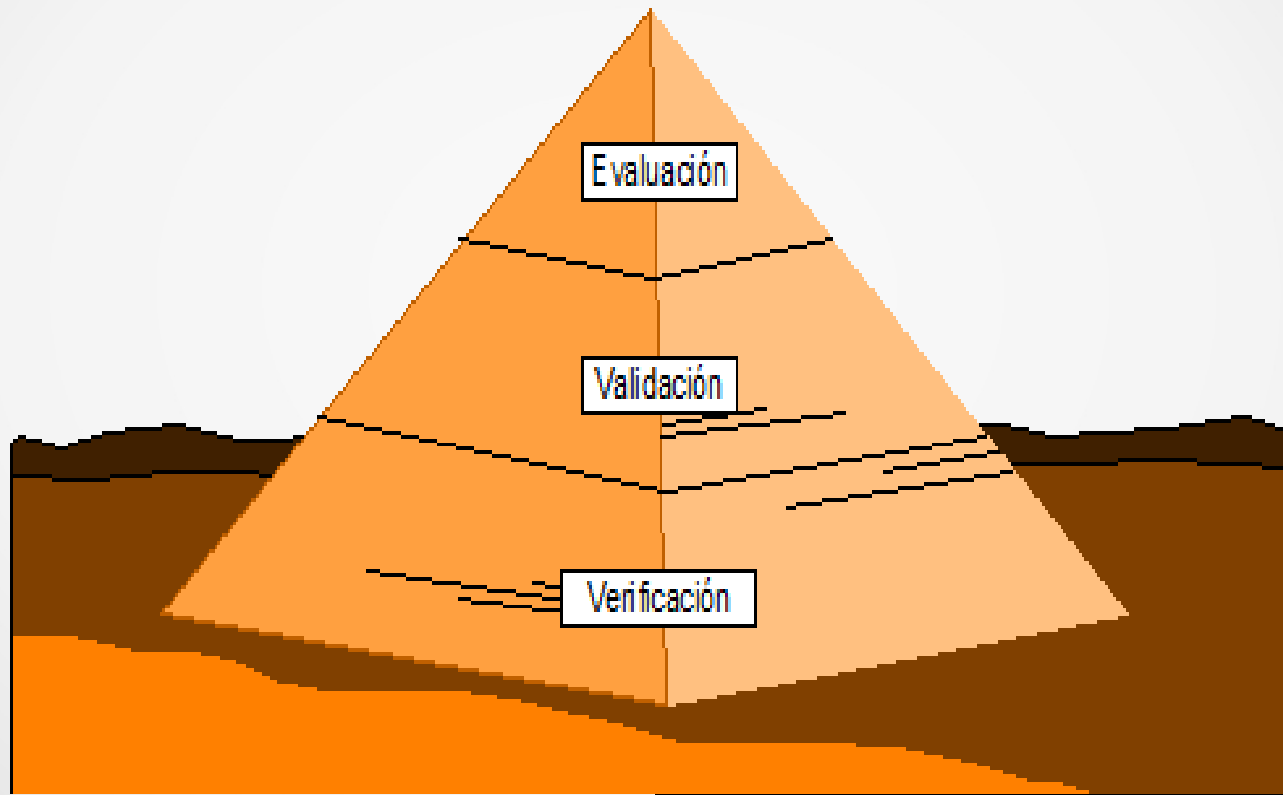


# Verificación y Validación (V&V) de Sistemas Expertos

Ing. Mg. Rolando A. Maguiña Pérez

# V&V de Sistemas Inteligentes

## Análisis del comportamiento de un SI



Fuente: Validación y Usabilidad de Sistemas Informáticos, Vicente Moret Bonillo (2005)

Ing. Mg. Rolando A. Maguiña Pérez

# V&V de Sistemas Inteligentes

## ❖ Evaluación de Sistemas Inteligentes

- Analiza aspectos tales como
  - utilidad
  - robustez
  - eficiencia
  - posibilidades de ampliación
  - facilidad de manejo

# V&V de Sistemas Inteligentes

## V&V de Sistemas Inteligentes

- ❖ Cómo asegurarnos que el SBC está actuando de forma similar a como lo haría un experto humano
- ❖ Principal objetivo: asegurarnos que el sistema produce la salida correcta de la forma correcta
- ❖ Permiten:
  - Asegurar la calidad del producto desarrollado
  - Asegurar su utilización en dominios críticos
  - Asegurar su aceptación en la rutina diaria

# V&V de Sistemas Inteligentes

## Verificación de Sistemas Inteligentes

- ❖ Boehm, 1981: comprobación que se está construyendo correctamente el producto
- ❖ Verificar que el sistema desarrollado cumple sus especificaciones de diseño y que el sw no contiene errores
- ❖ Tareas:
  - Verificación del cumplimiento de las especificaciones
  - Verificación de la BC
  - Verificación del MI



# V&V de Sistemas Inteligentes

## Verificación del cumplimiento de las especificaciones

### ❖ Según González/Dankel

- Paradigma de representación del conocimiento adecuado?
- Técnica de razonamiento adecuada?
- Diseño e implementación del sistema, se han llevado a cabo modularmente?
  - Conexión con sw externo, adecuada?
- IU, cumple las especificaciones?
- Mantenimiento del sistema, es posible?
- Seguridad del sistema, cumple especificaciones?
- BC, protegida ante posibles modificaciones del personal no autorizado?

# V&V de Sistemas Inteligentes

## Verificación de la BC

Punto de vista de las reglas:

- ❖ Verificación de la consistencia

Punto de vista de los componentes de las reglas:

- ❖ Verificación de la integridad  
(completitud)

# V&V de Sistemas Inteligentes

## Verificación de la BC

### ❖ Verificación de la consistencia

- Tipos de inconsistencias
  - Reglas redundantes
  - Reglas conflictivas
  - Reglas contenidas en otras
  - Reglas cíclicas
  - Condiciones IF innecesarias

# V&V de Sistemas Inteligentes

## Verificación de la BC

### ❖ Verificación de la consistencia

#### ➤ Reglas redundantes

##### - Redundancia sintáctica

$$p(x) \wedge q(x) \wedge s(x) \rightarrow w(x)$$

$$p(x) \wedge s(x) \wedge q(x) \rightarrow w(x)$$

##### - Redundancia semántica

Premisas o conclusiones de una regla no son idénticas en la sintaxis, pero sí en el significado

$$p(x) \wedge q(x) \wedge s(x) \rightarrow w(x) = \text{tormenta}$$

$$p(x) \wedge s(x) \wedge q(x) \rightarrow w(x) = \text{actividad-eléctrica}$$



Ing. Mg. Rolando A. Maguiña Pérez

# V&V de Sistemas Inteligentes

## Verificación de la BC

### ❖ Verificación de la consistencia

#### ➤ Reglas conflictivas

Premisas idénticas pero conclusiones contradictorias

$$p(x) \wedge q(x) \rightarrow w(x)$$

$$p(x) \wedge q(x) \rightarrow \text{NOT } w(x)$$

#### ➤ Reglas englobadas en otras

$$p(x) \wedge q(x) \wedge s(x) \rightarrow w(x)$$

$$p(x) \wedge q(x) \rightarrow w(x)$$

- No tiene por qué ser una anomalía
- Hay que definir una estrategia adecuada de resolución de conflictos

# V&V de Sistemas Inteligentes

## Verificación de la BC

### ❖ Verificación de la consistencia

#### ➤ Reglas circulares

$$p(x) \rightarrow q(x)$$

$$q(x) \rightarrow w(x)$$

$$w(x) \rightarrow p(x)$$

# V&V de Sistemas Inteligentes

## Verificación de la BC

### ❖ Verificación de la integridad

- Valores de atributos sin referencia
- Valores ilegales de atributos
- Conclusiones inalcanzables
- Reglas sin salida



# V&V de Sistemas Inteligentes

## Verificación del MI

- ❖ Si se usa herramientas comerciales, dificultad se reduce  
(responsabilidad de ingeniero cognimático se reduce a escoger la herramienta adecuada)
- ❖ Si se construye su propio mecanismo de inferencia se puede usar técnicas clásicas de la Ingeniería del Sw

# V&V de Sistemas Inteligentes

## Validación de Sistemas Inteligentes

- ❖ Boehm, 1981: comprobación que se está construyendo el producto correcto
  - Constatar la validez de los resultados
  - Constatación del cumplimiento de las necesidades y los requisitos del usuario

# Validación de Sistemas Inteligentes

## Aspectos generales de la Validación

### ❖ Características principales del proceso de validación

- Personal involucrado en el proceso
- Partes del sistema a validar
- Casuística de la validación
- Criterios de validación
- Métodos de validación
- Momento en que se realiza la validación
- Errores cometidos en la validación

# Validación de Sistemas Inteligentes

## Partes del sistema a validar

### ❖ Resultados finales

- Rendimiento gral del sistema

### ❖ Resultados intermedios

- Descripción del funcionamiento intermedio del sistema
- Permite corregir errores cometidos

### ❖ Razonamiento seguido

- Un razonamiento incorrecto puede ser fuente de errores cuando queramos ampliar la BC del sistema
- Tenemos que diseñar sistemas que “piensen” como lo haría un experto humano... también en la forma

# Validación de Sistemas Inteligentes

## Casuística de la Validación

### ❖ Método básico:

- Análisis de casos de prueba ya resueltos

### ❖ Características de la muestra:

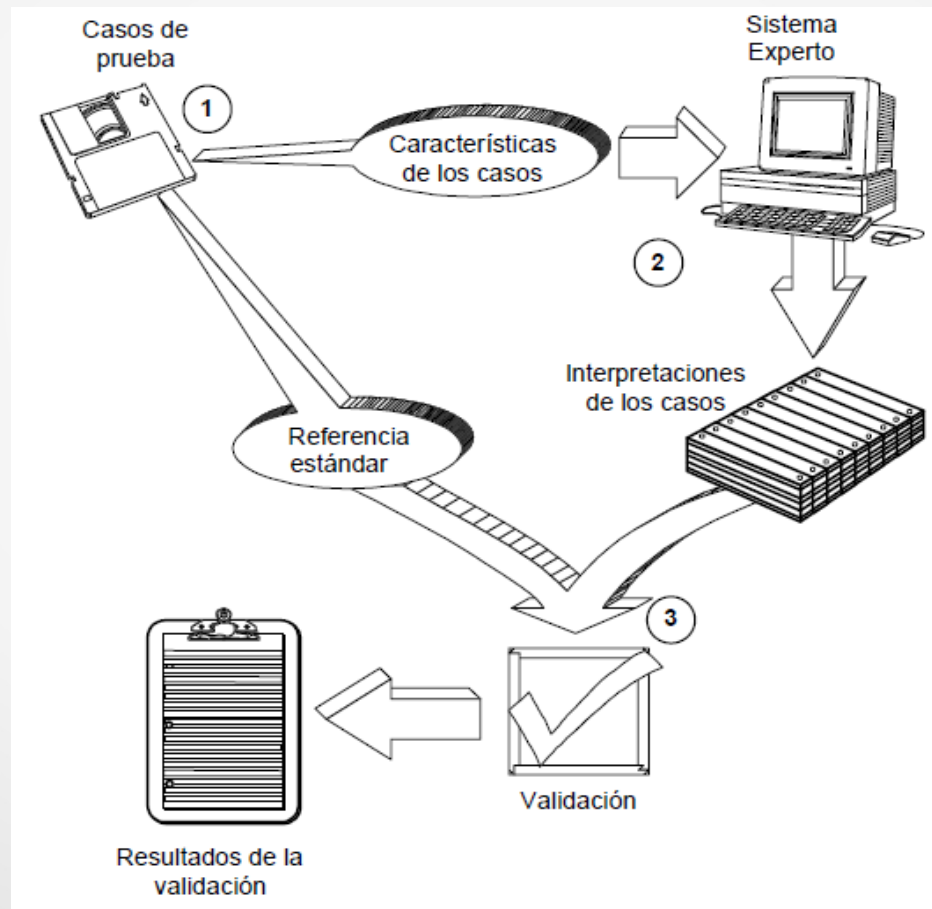
- Cantidad
- Representatividad

### ❖ Debe incluir dos tipos de datos:

- Los que incluyan las características de cada caso particular
- Un criterio que permita identificar el tipo de caso que estamos tratando

# Validación de Sistemas Inteligentes

## Proceso de validación a partir de casos de prueba



# Validación de Sistemas Inteligentes

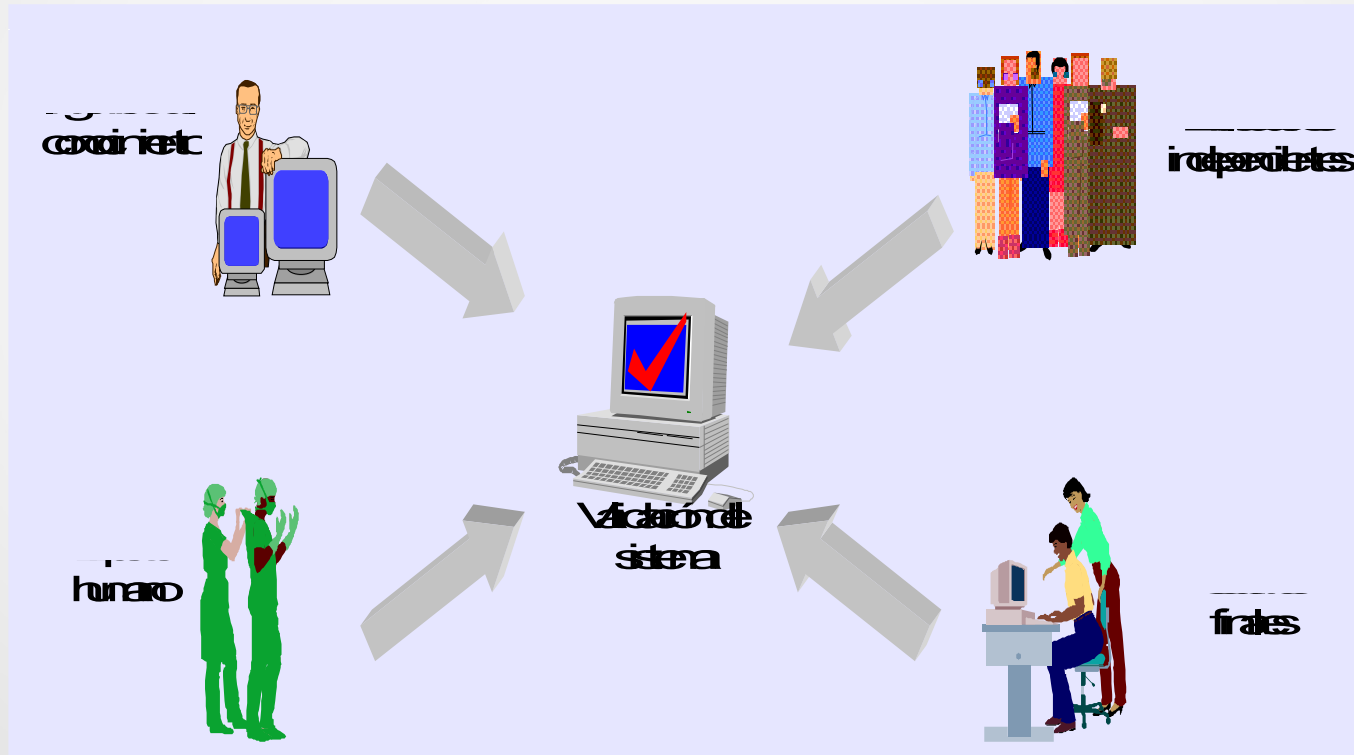
## Casuística de la Validación

### ❖ Proceso de validación

- Obtención de la casuística de validación
- Transferencia de los datos al sistema que ha de interpretarlos
- Resultados y criterios: entrada del proceso de validación en el que se analiza el rendimiento del sistema

# Validación de Sistemas Inteligentes

## Personal involucrado en la Validación





# Validación de Sistemas Inteligentes

## Tipos de Validación

### ❖ Criterio de validación

- Validación contra el experto
- Validación contra el problema

# Validación de Sistemas Inteligentes

## Validación contra el problema

❖ Nuestro sistema: ¿acierta realmente, o resuelve convenientemente, el problema planteado?

### ❖ Ventajas

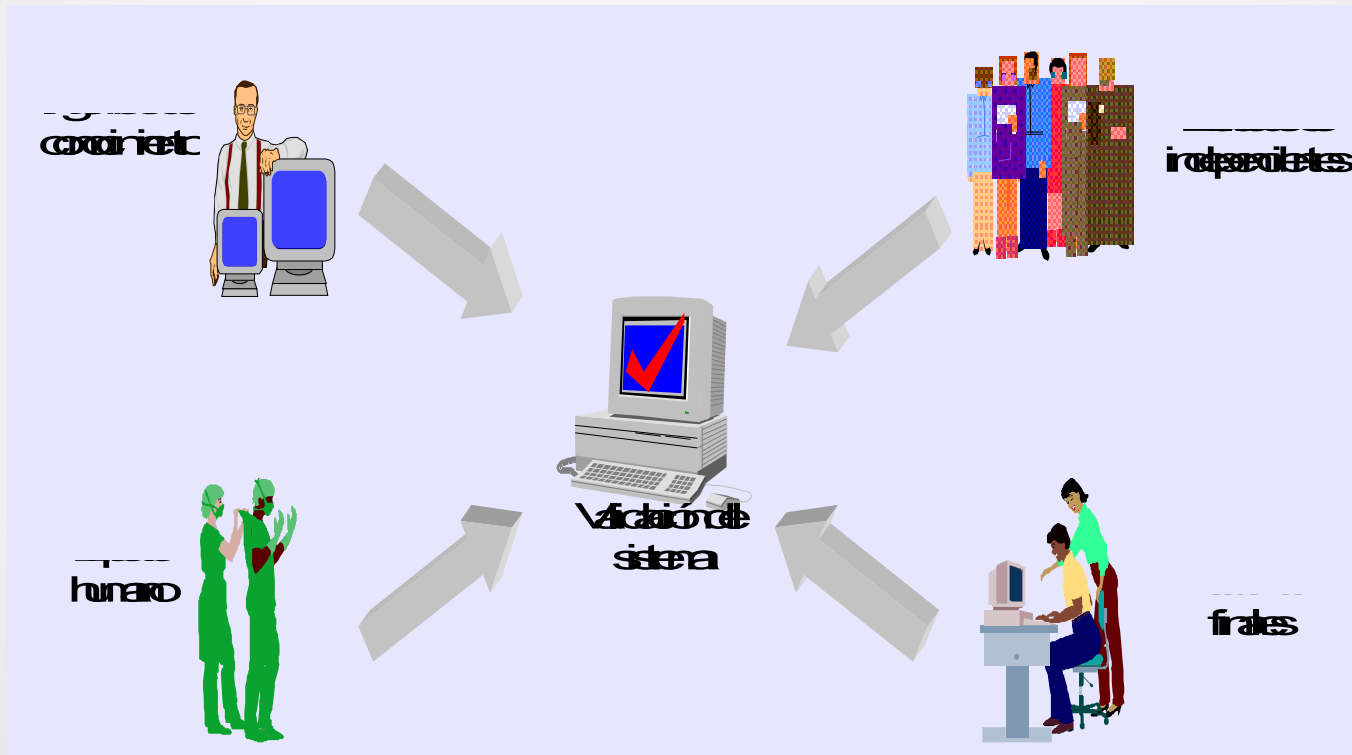
- Método completamente objetivo
- La solución real puede verse en el problema

### ❖ Desventajas

- Falacia del superhombre
- No siempre puede realizarse una validación contra el problema

# Validación de Sistemas Inteligentes

## Validación contra el problema



❖ La falacia del superhombre

# Validación de Sistemas Inteligentes

## Validación contra el experto

- ❖ Se utilizan las opiniones y las interpretaciones de los expertos humanos como criterio de validación
- ❖ Puede haber discrepancias entre expertos o sesgos en este tipo de validación
  - Factores externos: estrés,...
  - Pueden no ser independientes
  - Pueden ser ambiguos
  - Pueden pertenecer a distintas escuelas de pensamiento
  - Pueden no ser objetivos

# Validación de Sistemas Inteligentes

## Validación contra el experto

### ❖ Procedimientos

- Validación contra un solo experto
  - Ventajas: suele haber al menos un experto disponible
  - Inconvenientes: validación puede no ser fiable
- Validación contra un grupo de expertos
  - Ventajas: no estamos supeditados a una única opinión, y permite comparar el grado de consistencia entre expertos
  - Inconvenientes: los expertos no son todos iguales
- Validación contra un consenso de expertos
  - Ventajas: En teoría es el método más objetivo y confiable
  - Inconvenientes: puede haber un experto especialmente influyente, ¿cómo se mide el consenso?

# Validación de Sistemas Inteligentes

## Métodos de Validación

- ❖ Métodos cualitativos

- ❖ Métodos cuantitativos

- No son mutuamente excluyentes
- Se puede utilizar una combinación de ambas

# Validación de Sistemas Inteligentes

## Métodos cualitativos de Validación

### ❖ Métodos cualitativos

- Emplean técnicas subjetivas de comparación de rendimientos
  - Validación superficial
  - Pruebas de Turing
  - Pruebas de campo
  - Análisis de sensibilidad

# Validación de Sistemas Inteligentes

## Métodos cuantitativos de Validación

- ❖ Emplean medidas estadísticas para cuantificar el rendimiento de un SBC
- ❖ Métodos estadísticos: contraste de hipótesis, ANOVA, intervalos de confianza, etc.
- ❖ Tres grupos de técnicas cuantitativas:
  - Medidas de pares
  - Medidas de grupos
  - Ratios de acuerdo



# Métodos de Validación Cuantitativos

## Medidas de pares

- ❖ Pretenden evaluar el grado de acuerdo entre los resultados de dos expertos
- ❖ Parte de una base de datos de validación
- ❖ Cada experto evalúa cada caso y asigna una etiqueta semántica determinada
- ❖ Cjto de etiquetas semánticas debe ser exhaustivo y éstas deben ser mutuamente excluyentes

# Métodos de Validación Cuantitativos

## Medidas de pares

### ❖ Procedimiento de obtención

1. Construir tabla de contingencia
2. Calcular medida de pares

### ❖ Medidas más usadas

- Índice de acuerdo
- Índice de acuerdo dentro de uno
- Índice Kappa
- Índice Kappa ponderado

# Métodos de Validación Cuantitativos

## Tabla de contingencia

		<i>Resultados experto B</i>				
		1	2	....	k	Totales
<i>Resultados experto A</i>	1	$n_{11}$	$n_{12}$	....	$n_{1k}$	$n_1$
	2	$n_{21}$	$n_{22}$	....	$n_{2k}$	$n_2$
	...	...	....	....	....	....
	k	$n_{k1}$	$n_{k2}$	....	$n_{kk}$	$n_k$
	Totales	$n_1$	$n_2$	....	$n_k$	$n = N$

$k$  categorías o etiquetas semánticas,  $N$  casos en total (muestra)

$n_{ij}$ : nro de casos en los que el experto A selecciona la categoría  $i$  mientras que

el experto B selecciona la categoría  $j$  (frecuencias absolutas)

$n_i$ : frecuencias absolutas marginales (nro total de casos pertenecientes a la fila  $i$ )

$n_j$ : frecuencias absolutas marginales (nro total de casos pertenecientes a la col  $j$ )

# Métodos de Validación Cuantitativos

## Tabla de contingencia

Frecuencias absolutas marginales se obtienen a partir de los valores de las celdas:

$$n_{i.} = n_{i1} + n_{i2} + \dots + n_{ik}$$

$$n_{.j} = n_{1j} + n_{2j} + \dots + n_{kj}$$

$$n_{..} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k n_{ij} = \sum_{i=1}^k n_{i.} = \sum_{j=1}^k n_{.j}$$

# Métodos de Validación Cuantitativos

## ❖ Índice de acuerdo

- Cociente entre nro de observaciones de acuerdo entre los expertos y nro de observaciones totales

$$\text{Indice de acuerdo} = \frac{\sum_{i=1, j=1, i=j}^k n_{ij}}{N} = \sum_{i=1, j=1, i=j}^k p_{ij}$$

$p_{ij}$  : frecuencias relativas de la diagonal principal

# Métodos de Validación Cuantitativos

## ❖ Índice de acuerdo - continuación

### ➤ Características:

- Valores en intervalo  $[0,1]$
- Su valor no es afectado por variaciones en el orden de las categorías
- Un experto siempre presenta acuerdo perfecto consigo mismo
- No importa el orden en que escojamos a los expertos

### ➤ Ventajas:

- Sencillez de cálculo

### ➤ Desventajas:

- No toma en cuenta los acuerdos debidos a la casualidad
- Se centra en los acuerdos sin hacer diferencias entre los desacuerdos que puedan aparecer

# Métodos de Validación Cuantitativos

## ❖ Índice de acuerdo dentro de uno

- Considera como acuerdos parciales aquellas interpretaciones que se diferencian sólo en una categoría semántica.

$$\text{Ind de ac dentro de uno} = \frac{1}{N} \sum_{i=1, j=1, i=j, i=j \pm 1}^k n_{ij} = \sum_{i=1, j=1, i=j, i=j \pm 1}^k p_{ij}$$

- Características:
  - Similar al índice de acuerdo pero suma tbn las frecuencias de las diagonales adyacentes a la principal

Solamente es útil cuando se trabaja con escalas ordinales (hay un orden entre las categorías).

# Métodos de Validación Cuantitativos

## ❖ Índice de acuerdo dentro de uno - continuación

### ➤ Ventajas:

- Puede analizar tendencias

### ➤ Desventajas:

- Presenta el mismo problema que el índice de acuerdo, no tiene en cuenta los acuerdos debidos a la casualidad
- Se centra en los acuerdos sin hacer diferencias entre los desacuerdos que puedan que puedan aparecer



# Métodos de Validación Cuantitativos

## Solución del ejercicio

Se considera el experto D y el SBC

a.1) Tabla de contingencia

D/SE	HeS	HeL	NoT	HoL	HoS	
HeS	0	0	0	0	0	0
HeL	0	0	1	0	1	2
NoT	1	1	2	1	0	5
HoL	0	1	1	0	0	2
HoS	0	0	0	0	1	1
	1	2	4	1	2	

a.2) Frecuencias relativas

D/SE	HeS	HeL	NoT	HoL	HoS	
HeS	0	0	0	0	0	0
HeL	0	0	0.1	0	0.1	0.2
NoT	0.1	0.1	0.2	0.1	0	0.5
HoL	0	0.1	0.1	0	0	0.2
HoS	0	0	0	0	0.1	0.1
	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	

# Métodos de Validación Cuantitativos

## Solución del ejercicio

a.3) Índice de acuerdo e Índice de acuerdo entre uno  
Pares de expertos D, SE

- Índice de acuerdo

$$\text{Índice\_de\_acuerdo}(D, SE) = 0.3$$

- Índice de acuerdo entre uno

$$\text{Índice\_de\_acuerdo\_entre\_uno}(D, SE) = 0.7$$

# Métodos de Validación Cuantitativos

## Solución del segundo ejercicio

### b) Índice de acuerdo

Para los pares de expertos A y B

A/B	HeS	HeL	NoT	HoL	HoS	
HeS	1	1	0	0	0	2
HeL	0	1	1	0	0	2
NoT	0	0	2	1	0	3
HoL	0	0	2	0	0	2
HoS	0	0	0	0	1	1
	1	2	5	1	1	

A/B	HeS	HeL	NoT	HoL	HoS	
HeS	0.1	0.1	0	0	0	0.2
HeL	0	0.1	0.1	0	0	0.2
NoT	0	0	0.2	0.1	0	0.3
HoL	0	0	0.2	0	0	0.2
HoS	0	0	0	0	0.1	0.1
	0.1	0.2	0.5	0.1	0.1	

# Métodos de Validación Cuantitativos

## Solución del ejercicio

Pares de expertos A, B

b.1) Índice de acuerdo

$$\text{Indice\_de\_acuerdo}(A,B) = 0.1 + 0.1 + 0.2 + 0 + 0.1 = 0.5$$

# Métodos de Validación Cuantitativos

## Medidas de grupos

- ❖ Fundamento: usar opiniones de varios expertos y los resultados del SI, para determinar si éstos son similares a los de los expertos humanos
- ❖ Tests más usados
  - Medidas de Williams
  - Análisis cluster

# Métodos de Validación Cuantitativos

## Ratios de acuerdo

- ❖ Pretenden medir acuerdo existente entre un experto (o SI) y una referencia std
- ❖ Procedimiento
  - Construir tabla de contingencia 2x2 para c/u de las categorías
  - Calcular los ratios derivados de estos valores

# Medidas de evaluación

## Métricas

### ❖ Las más usadas

- Exactitud (Accuracy)
- Precisión
- Sensibilidad
- F-measure
-

# Medidas de evaluación

## Matriz de confusión

		Referencia std		D es la categoría bajo análisis
		D	$\neg D$	
SI	D	TP	FP	TP + FP
	$\neg D$	FN	TN	FN + TN
		TP + FN	FP + TN	TP + FP + FN + TN

Nomenclatura:

TP: True Positive

TN: True Negative

FP: False Positive

FN: False Negative



# Medidas de evaluación

## Ratios de acuerdo

### ✦ Exactitud (Accuracy)

Proporción de casos en que el SBC ha coincidido con el std para la categoría tomada en consideración

$$\text{Exactitud} = \frac{\text{TP} + \text{TN}}{\text{TP} + \text{FP} + \text{FN} + \text{TN}}$$

Nomenclatura:

TP: True Positive

TN: True Negative

FP: False Positive

FN: False Negative

# Medidas de evaluación

## Ratios de acuerdo

### ❖ Precisión (Precision)

Nro de casos positivos que se han clasificado correctamente respecto del nro total de predicciones de la clase positiva

$$\text{Precisión} = \frac{TP}{TP + FP}$$

# Medidas de evaluación

## Ratios de acuerdo

### ❖ Sensibilidad (Recall)

Es el nro de veces que se ha clasificado bien la categoría considerada respecto del nro total de veces que realmente dicha categoría aparece

$$\text{Sensibilidad} = \frac{TP}{TP + FN}$$

Puede entenderse como la probabilidad de que el sistema clasifique correctamente el caso sabiendo que es positivo

# Medidas de evaluación

## Ratios de acuerdo

### ❖ F-measure (F1)

Representa la media armónica entre los valores de las métricas sensibilidad y precisión

$$F1 = 2 \frac{\text{precisión} \times \text{sensibilidad}}{\text{precisión} + \text{sensibilidad}}$$

# Medidas de evaluación

## Ratios de acuerdo

Matriz de Confusión

		A		
		Hiper	¬Hiper	
SI	Hiper	TP=3	FP=0	3
	¬Hiper	FN=1	TN=6	7
		4	6	

Suponer que no hay diferencias entre las categorías hipertensión ligera e hipertensión severa

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN} = \frac{3+6}{3+0+1+6} = \frac{9}{10} = 0.90$$

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} = \frac{3}{3+0} = \frac{3}{3} = 1.0$$

$$\text{Sensibilidad} = \frac{TP}{TP+FN} = \frac{3}{3+1} = \frac{3}{4} = 0.75$$

$$F1 = \frac{2(\text{precisión} * \text{sensibilidad})}{(\text{precisión} + \text{sensibilidad})} = \frac{2(1 * 0.75)}{(1 + 0.75)} =$$