

**Universitat de València**

**Departamento de Lógica y Filosofía de la Ciencia**

# **Computational Measures of Information Gain and Reinforcement in Inference Processes**

*Medidas Computacionales de Ganancia de Información y  
Refuerzo en Procesos de Inferencia*

**Autor:**

**José Hernández Orallo**

**Director:**

**Rafael Beneyto Torres**

16 de diciembre de 1999

# ÍNDICE DE LA EXPOSICIÓN.

1. Introducción
  - 1.1. Marco.
  - 1.2. Antecedentes.
  - 1.3. Objetivos.
  - 1.4. Metodología.
2. Nuevas Medidas.
3. Aplicaciones.
4. Aportaciones Principales.
5. Conclusiones.

# 1. INTRODUCCIÓN.

## 1.1. Marco.

### Evaluación de Procesos de Inferencia

Estimación del Valor del Resultado de una Inferencia

$$E, C \rightarrow R$$

Dimensiones:

- Ganancia de Información.
- Grado de Certeza.

Utilidad:

- Evaluación de Sistemas Conceptuales.
- Medida y Desarrollo de Sistemas de Razonamiento.
- Combinación de Procesos de Inferencia.

# 1. INTRODUCCIÓN.

## 1.2. Antecedentes. Inferencia e Información.

Paradoja de la Inferencia:

A) *Si la conclusión de una inferencia no está contenida en las premisas, no puede ser válida.*

B) *La conclusión no puede estar contenida en las premisas y ser al mismo tiempo novedosa.*



C) *Las inferencias no pueden ser al mismo tiempo válidas y novedosas.*



# 1. INTRODUCCIÓN.

## 1.2. Antecedentes. Inferencia e Información.

Cálculo probabilístico de Carnap:

- si  $P \models Q$  entonces  $p(P) \leq p(Q)$

La relación de información y de probabilidad:

- $I(P) = -\log p(P)$

Inducción y deducción se ven como procesos *inversos* en términos de ganancia de información.

# 1. INTRODUCCIÓN.

## 1.2. Antecedentes. Inferencia e Información.

(Popper & Miller 1983):

No puede haber dependencia exclusivamente inductiva entre dos fórmulas.

(Cussens 1998):

Corolario:  $Q$  es deductivamente independiente de  $P$  si y sólo si  $\neg P \models Q$ .

*“Cualquier noción de inducción como una clase de complemento a la deducción resulta insostenible”.*

(Cussens 1998).

# 1. INTRODUCCIÓN.

## 1.2. Antecedentes. Inferencia e Esfuerzo.

Supuesto: ~~omnisciencia.~~



- La inferencia se debe considerar potencial y diferenciar entre información profunda y superficial (Hintikka 1970).
- Un agente conocerá un enunciado *implícito* en sus conocimientos previos si realiza un **esfuerzo** de inferencia.

*La conclusión sí puede estar contenida en las premisas y ser al mismo tiempo novedosa, porque es **difícil** hacerla explícita.*

*¿Cómo medir la dificultad o el esfuerzo de inferencia?*

# 1. INTRODUCCIÓN.

## 1.2. Antecedentes. Inferencia y Confirmación.

- Deducción clásica: confirmación absoluta.
- Deducción no-monótona, probabilística o con incertidumbre: confirmación cuantitativa.
- Inducción / Abducción:
  - Visión cuantitativa (Carnap 1950).
  - Visión cualitativa (Hempel 1945) (Flach 1995a).

*Confirmación como refuerzo (Quine 1953):*

- *Problema: se limita a atributos preexistentes.*

*¿ Es posible considerar fuentes de confirmación de diferentes procesos de inferencia a la vez?*



# 1. INTRODUCCIÓN.

## 1.2. Antecedentes. Combinación y Evaluación

Problema de la Combinación:

- Visión nomológica de la inducción como deducción o compleción a partir de leyes generales o innatas (Hempel & Oppenheim 1965).

Evaluación:

- |           |   |   |
|-----------|---|---|
| inducción | { | <ul style="list-style-type: none"><li>• Criterios de simplicidad (MDL, Rissanen 1978).</li><li>• Criterios bayesianos (MLE, distribución a priori).</li><li>• Criterios de informatividad y falsificabilidad (Popper)</li><li>• Criterios de explicación, unificación o coherencia.</li></ul> |
| deducción | { | <ul style="list-style-type: none"><li>• Criterios de utilidad informales.</li><li>• Medidas de conceptos auxiliares (Hintikka 1973).</li></ul>  |

*¿ Es posible desarrollar medidas unificadas (o al menos compatibles) para distintos procesos de inferencia?*

# 1. INTRODUCCIÓN.

## 1.3. Objetivos.

Desarrollo de medidas compatibles para evaluar el resultado de la síntesis inferencial de conceptos en términos de ganancia de información y refuerzo.

Dimensiones:

- Informatividad
- Plausibilidad
- Consiliencia
- Intensionalidad
- Comprensibilidad / Inteligibilidad
- Utilidad

# 1. INTRODUCCIÓN.

## 1.4. Metodología.

Desligar la medida de información y la de confirmación.

- Visión moderna de la teoría de la información:

La *Complejidad de Kolmogorov* de un objeto  $x$  dado  $y$  es :

$$K(x|y) = \min \{ l(p) : \phi(p,y) = x \}$$

La *complejidad absoluta* de un objeto es  $K_{\beta}(x) = K_{\beta}(x|\epsilon)$ .

- Medida del esfuerzo computacional:
  - Ponderación del Espacio y Tiempo mediante  $LT$ .

$$LT_{\phi}(p_x) = l(p_x) + \log_2 \text{Cost}_{\phi}(p_x)$$

La *Complejidad de Levin* de un objeto  $x$  dado  $y$  es:

$$Kt(x|y) = \min \{ LT_{\phi}(p) : \phi(p,y) = x \}$$

# 1. INTRODUCCIÓN.

## 1.4. Metodología.

- Visión de la inferencia desde el punto de vista estrictamente computacional.
- Visión de la confirmación cuantitativa pero no probabilística (como refuerzo)
- Algunas dimensiones dependen de dar medidas detalladas para las partes de cualquier concepto / teoría, y no un valor conjunto.
- Convicción de que los sistemas de razonamiento también se pueden evaluar por medidas derivadas formal y computacionalmente.

## 2. NUEVAS MEDIDAS.

### 2.1. Ganancia Computacional de Información.

La *ganancia de información independiente del tiempo* de un objeto  $x$  respecto a un objeto  $y$  se define como:

$$V(x | y) = K(x | y) / K(x)$$

La *ganancia de información computacional (espacio-temporal)* de un objeto  $x$  respecto a un objeto  $y$  se define como:

$$G(x | y) = Kt(x | y) / Kt(x)$$

- Se estudian sus propiedades de límites y robustez.
  - Se comparan con otras medidas de ganancia.
- (Quinlan 1993)

## 2. NUEVAS MEDIDAS.

### 2.1. Ganancia Computacional de Información.

- Si  $G \approx 1$ , proviene de:
  - un esfuerzo computacional, o
  - información independiente.

¿ *Cómo distinguir entre los dos casos?*

La *ganancia real de información* de un objeto  $x$  respecto a un objeto  $y$  es:  $TG(x | y) = [Kt(x | y) - K(x | y)] / Kt(x)$

$V(x   y)$	$G(x   y)$	$TG(x   y)$	$V(x   y)/G(x   y)$	Significado
1	1	0	1	$x$ no está implícito ni explícito en $y$
0	1	1	0	$x$ está profundamente implícito en $y$
1	$\cong 0$	-	-	Imposible
0	$\cong 0$	$\cong 0$	0	$x$ está explícito en $y$

## 2. NUEVAS MEDIDAS.

### 2.2. Ganancia y Procesos de Inferencia.

**INDUCCIÓN:** si  $x$  es la teoría e  $y$  es la evidencia:

- Mínimo:  $G(x | y) = \log l(x) / (l(x) + \log(l(x))) \approx 0$ .  
La teoría es evidente a partir de los datos.
- Máximo:  $G(x | y) = 1$ .

La teoría es sorprendente respecto a los datos.

*Criterio de Olvido.* Dado un criterio de plausibilidad  $PC(h | d)$ , su política de memoria puede regirse por:

$$OC(h | d) = G(h | d) \cdot PC(h | d)$$

## 2. NUEVAS MEDIDAS.

### 2.2. Ganancia y Procesos de Inferencia.

**DEDUCCIÓN:** si  $x$  es la conclusión e  $y$  son las premisas:

- Mínimo:  $G(x | y) = \log I(x) / (I(x) + \log(I(x))) \approx 0$ .

La conclusión es evidente a partir de las premisas.

- Máximo:  $G(x | y) = 1$ .

La conclusión es sorprendente respecto a las premisas.

Se establecen diversas medidas de optimalidad de sistemas axiomáticos, que ponderen el esfuerzo de derivación de nuevos hechos con el tamaño del sistema (número de reglas explicitadas).



## **2. NUEVAS MEDIDAS.**

### **2.2. Propiedades de las medidas de ganancia.**

Las medidas de ganancia introducidas:

- Constituyen una matematización descriptiva de la visión de informatividad de Popper para la inducción.
- Generalizan la visión de Hintikka de información profunda e información superficial.
- Subsumen otras medidas de ganancia de información para árboles de decisión (Quinlan 1986, 1990).
- Clarifican y superan la paradoja de la inferencia.

## 2. NUEVAS MEDIDAS.

### 2.3. Medida del Refuerzo Constructivo.

¿Cómo extender la teoría de confirmación por refuerzo a lenguajes constructivos (de expresividad general)?

Se presentará una solución con una única condición:

- el lenguaje esté constituido de unidades (fórmulas o reglas).

El *refuerzo puro*  $\rho\rho(r)$  de una regla  $r$  de una teoría  $T$  respecto una evidencia dada  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$  se define como:

$$\rho\rho(r) = \sum_{i=1..n} \text{card}(\text{Proof}_r(e_i, T))$$

El *refuerzo (normalizado)* se define como:

$$\rho(r) = 1 - 2^{-\rho\rho(r)}$$

## 2. NUEVAS MEDIDAS.

### 2.3. Medida del Refuerzo Constructivo.

El *refuerzo medio*  $m\rho(T)$  se define así:

$$m\rho(T) = \sum_{r \in T} \rho(r)/m, \text{ siendo } m \text{ el número de reglas.}$$

**PROBLEMA:** Utilizar la medida del refuerzo medio sufre de la aparición de conceptos fantásticos.

SOLUCIÓN:

El *curso*  $\chi_T(f)$  de un hecho  $f$  respecto una teoría  $T$  es:

$$\chi_T(f) = \max_{S \subset \text{Proof}(f, T)} \{ \prod_{r \in S} \rho(r) \}$$

## 2. NUEVAS MEDIDAS.

### 2.3. Refuerzo Constructivo y Evaluación.

El *curso medio*  $m\chi(T, E)$  de una teoría  $T$  con respecto a una evidencia  $E$  se define como:

$$m\chi(T, E) = \sum_{e \in E} \chi_T(e) / n \quad \text{siendo } n = \text{card}(E)$$

- Se definen otros valores globales:
  - ***Curso medio compensado.***
  - ***Consiliencia.***
  - ***Intensionalidad.***
- Se establecen resultados comparando estos criterios.
- Se introducen diferentes extensiones.

## 2. NUEVAS MEDIDAS.

### 2.3. Refuerzo Constructivo y Procesos de Inferencia.

**INDUCCIÓN:**  $m\chi$  es un criterio de selección de hipótesis.

- Es más informativo y robusto que el principio MDL.

**ABDUCCIÓN:** Los hechos explicativos también refuerzan.

**ANALOGÍA:** Se muestra clave para aumentar el refuerzo.

**DEDUCCIÓN:**  $\rho(r)$  es un criterio de *utilidad*.

También se puede establecer un criterio de *plausibilidad*:

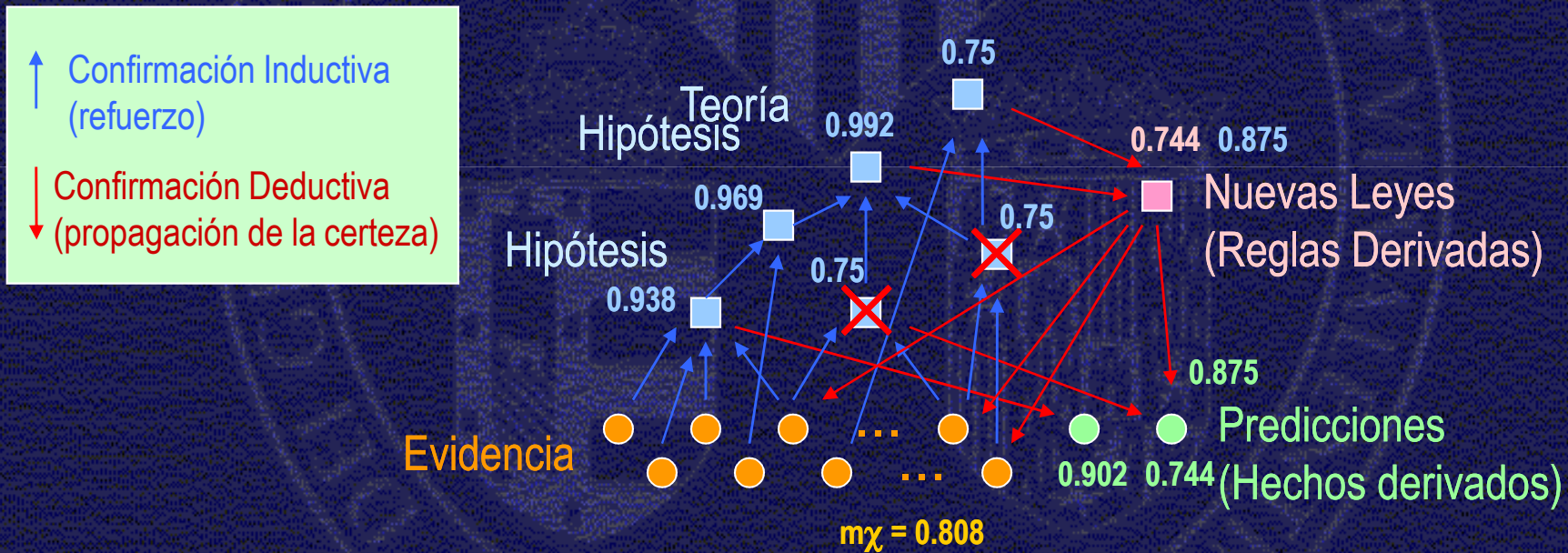
La plausibilidad de la conclusión se obtiene a partir de los refuerzos de las premisas:

$$P_1(r) = \chi_T(r)$$

## 2. NUEVAS MEDIDAS.

### 2.3. Refuerzo Constructivo y Procesos de Inferencia.

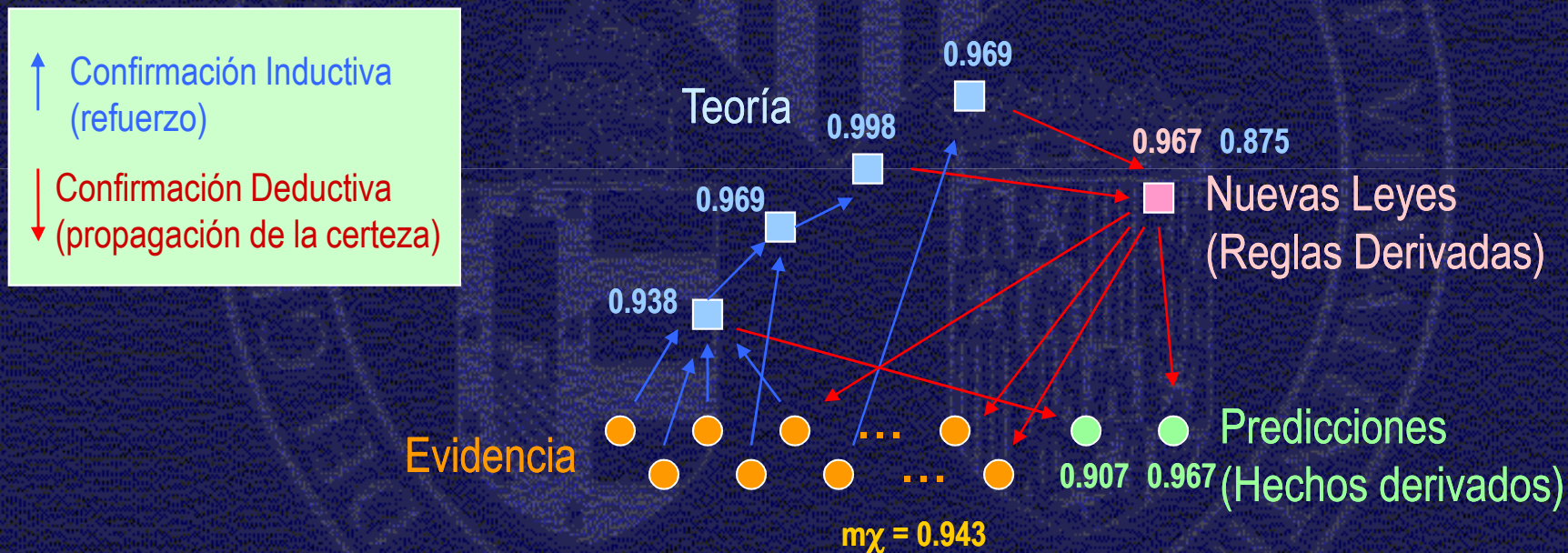
Tanto la propagación inductiva y deductiva generan reorganizaciones de una teoría.



## 2. NUEVAS MEDIDAS.

### 2.3. Refuerzo Constructivo y Procesos de Inferencia.

Tanto la propagación inductiva y deductiva generan reorganizaciones de una teoría.



- No siempre se deben eliminar (olvidar) partes de la teoría.
- El criterio de olvido es fácilmente adaptable a partir de  $\rho(r)$  y de una aproximación de  $G$  (esfuerzo, ya sea deductivo o inductivo).

## 2. NUEVAS MEDIDAS.

### 2.3. Características del Refuerzo Constructivo.

Las medidas de refuerzo introducidas:

- Válidas para lenguajes constructivos.
- Adaptan consistentemente todas las condiciones de idoneidad (fuentes de confirmación) de Hempel.
- Medida detallada ( $\chi$ ). Gradual y particularizada para cada uno de los constituyentes de la teoría.
- Permiten dar predicciones con diferente grado de plausibilidad ( $\chi_i$ ).
- Permiten dar distintos criterios de plausibilidad dependiendo de la distribución del refuerzo.



## 2. NUEVAS MEDIDAS.

### 2.4. Intensionalidad y Explicación.

*¿Cómo distinguir formalmente entre una definición o descripción extensional y una intensional (o por comprensión)?*

*¿hay descripciones intensionales para conceptos finitos?*

Una descripción intensional (o comprensiva) es aquélla que no tiene *excepciones* al *patrón* o regla principal.

*¿Qué es una excepción?  
¿Cómo se distingue el patrón?*

## 2. NUEVAS MEDIDAS.

### 2.4. Intensionalidad y Explicación.

- PRIMERA APROXIMACIÓN (detección de excepciones):  
Proporción de la complejidad de la regla principal con respecto a la proporción de lo descrito.

Inconveniente: Depende de la definición de subprograma.

- SEGUNDA APROXIMACIÓN (noción de proyectibilidad):
  - Noción de descripción proyectable.
  - Noción de equivalencia en el límite.
  - Noción de descripción completamente proyectable.
  - Noción de estabilidad por la derecha.

## 2. NUEVAS MEDIDAS.

### 2.4. Intensionalidad y Explicación.

La *Complejidad Explicativa* de un objeto  $x$  dado  $y$  en un mecanismo descriptivo  $\beta$  se define como:

$$Et_{\beta}(x | y) = \min \{ LT_{\beta}(\langle p, y \rangle)[..l(x)] - l(y) \text{ tal que } \langle p, y \rangle \text{ es completamente proyectable} \}$$

Denominaremos  $SED(x|y)$  a la descripción completamente proyectable más corta para  $x$  dado  $y$ .

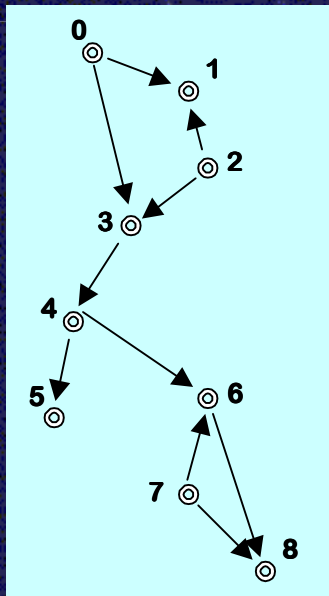
**Teorema de anticipación.** Existe una constante  $c$  tal que para toda cadena  $x$  de longitud  $n$  con  $SED(x) = x^*$  y  $l(x^*) = m$  tal que  $m < n$ , entonces cualquier partición  $x = yz$ ,  $l(y) < m - c$  tal que  $SED(y)$  no es equivalente en el límite con  $x^*$ .

## 3. APLICACIONES.

### 3.1. Evaluación y Generación de Teorías Lógicas.

Conklin & Witten (1994) presentan una comparación experimental de criterios de evaluación:

- el principio  $MDL_1$  basado en la complejidad del modelo.
- el principio  $MDL_2$  basado en la complejidad de la demostración.



**Ejemplo:** (Quinlan 1990) (Conklin & Witten 1994)

- Describe la relación de conexión o "alcanzabilidad".
- 9 nodos (0..8).
- La teoría del conocimiento previo  $B$  se compone de 10 hechos extensionales del predicado *linked* :

$B = \{ \text{linked}(0,1), \text{linked}(0,3), \text{linked}(1,2), \text{linked}(3,2),$   
 $\text{linked}(3,4), \text{linked}(4,5), \text{linked}(4,6), \text{linked}(6,8),$   
 $\text{linked}(7,6), \text{linked}(7,8) \}$

## 3. APLICACIONES.

### 3.1. Evaluación y Generación de Teorías Lógicas.

**CASO 1: Evidencia Completa: todos los ejemplos positivos.**

Suposición de mundo cerrado: el resto es negativo.

La evidencia  $E$  es una especificación *completa* del predicado *reach* formado por: 19 hechos sobre 72 combinaciones posibles:

$$E = \{ \text{reach}(0,1). \text{reach}(0,2). \text{reach}(0,3). \text{reach}(0,4). \\ \text{reach}(0,5). \text{reach}(0,6). \text{reach}(0,8). \text{reach}(1,2). \\ \text{reach}(3,2). \text{reach}(3,4). \text{reach}(3,5). \text{reach}(3,6). \\ \text{reach}(3,8). \text{reach}(4,5). \text{reach}(4,6). \text{reach}(4,8). \\ \text{reach}(6,8). \text{reach}(7,6). \text{reach}(7,8) \}$$

# 3. APLICACIONES.

## 3.1. Evaluación y Generación de Teorías Lógicas.

### CASO 1: Teorías:

Teoría	Programa
T <sub>1</sub>	reach(X,Y)
T <sub>2</sub>	reach(0,1). reach(0,2). reach(0,3). reach(0,4). reach(0,5). reach(0,6). reach(0,8). reach(1,2). reach(3,2). reach(3,4). reach(3,5). reach(3,6). reach(3,8). reach(4,5). reach(4,6). reach(4,8). reach(6,8). reach(7,6). reach(7,8)
T <sub>2</sub>	reach(0,X). reach(3,X). reach(X,8). reach(1,2). reach(4,5). reach(4,6). reach(7,6).
T <sub>3</sub>	reach(X,Y) :- linked(X,Y). reach(0,2). reach(0,4). reach(0,5). reach(0,6). reach(0,8). reach(3,5). reach(3,6). reach(3,8). reach(4,8).
T <sub>4</sub>	reach(X,Y) :- linked(X,Y). reach(X,Y) :- linked(X,Z). (T <sub>4</sub> )
T <sub>5</sub>	reach(X,Y) :- linked(X,Y). reach(X,Y) :- linked(X,Z), linked(Z,Y). reach(0,5). reach(0,6). reach(0,8). reach(3,8).
T <sub>6</sub>	reach(X,Y) :- linked(X,Y). reach(X,Y) :- linked(X,Z), reach(Z,Y).

### 3. APLICACIONES.

#### 3.1. Evaluación y Generación de Teorías Lógicas.

##### CASO 1: Evaluación:

T	L(T)	GD	Consilte. (sin exceps.)	Gana ncia	Curso Medio ( $m\chi$ )	Spec. ( $m'\chi$ )	L(E T)	MDL <sub>1</sub>	PC(E T)	MDL <sub>2</sub>
T <sub>1</sub>	11.5	3.8	Sí	0.57	$\approx 1$	0.57	56.7	68.2	120.5	<b>132.0</b>
T <sub>2</sub>	159.5	1	No	0.02	= 0.5	0.5	0	159.5	80.7	240.2
T' <sub>2</sub>	60.3	1.52	No	0.59	0.88	0.75	24.3	84.6	100.9	161.2
T <sub>3</sub>	111.7	1	No	0.09	0.76	0.76	0	111.7	96.3	208.0
T <sub>4</sub>	43.7	2,53	No	0.58	$\approx 1$	0.67	43.4	87.1	110.6	154.3
T' <sub>4</sub>	23.3	2,53	Sí	0.75	$\approx 1$	0.67	43.4	66.7	123.3	133.9
T <sub>5</sub>	94.5	1	No	0.39	0.886	0.89	0	94.5	101.9	196.5
T <sub>6</sub>	53.8	1	Sí	0.68	0.999	<b>0.999</b>	0	<b>53.8</b>	106.1	160.0

## 3. APLICACIONES.

### 3.1. Evaluación y Generación de Teorías Lógicas.

#### ***CASO 2: Evidencia Positiva Parcial.***

La evidencia  $E$  es una especificación *parcial* del predicado *reach* formado por: 12 hechos de los 19 totales.

$$E = \{ \text{reach}(0,3). \text{reach}(0,4). \text{reach}(0,5). \text{reach}(0,8). \\ \text{reach}(3,2). \text{reach}(3,4). \text{reach}(3,5). \text{reach}(3,8). \\ \text{reach}(4,6). \text{reach}(4,8). \text{reach}(6,8). \text{reach}(7,8) \}$$



# 3. APLICACIONES.

## 3.1. Evaluación y Generación de Teorías Lógicas.

### CASO 2: Teorías:

Teoría	Programa
T <sub>1</sub>	reach(X,Y)
T <sub>2</sub>	reach(0,3). reach(0,4). reach(0,5). reach(0,8). reach(3,2). reach(3,4). reach(3,5). reach(3,8). reach(4,6). reach(4,8). reach(6,8). reach(7,8).
T' <sub>2</sub>	reach(0,X). reach(3,X). reach(X,8). reach(4,6).
T <sub>3</sub>	reach(X,Y) :- linked(X,Y). reach(0,2). reach(0,4). reach(0,5). reach(0,6). reach(0,8). reach(3,5). reach(3,6). reach(3,8). reach(4,8).
T <sub>4</sub>	reach(X,Y) :- linked(X,Y). reach(X,Y) :- linked(X,Z). (T' <sub>4</sub> )
T <sub>5</sub>	reach(X,Y) :- linked(X,Y). reach(X,Y) :- linked(X,Z), linked(Z,Y). reach(0,5). reach(0,8). reach(3,8).
T <sub>6</sub>	reach(X,Y) :- linked(X,Y). reach(X,Y) :- linked(X,Z), reach(Z,Y).

### 3. APLICACIONES.

#### 3.1. Evaluación y Generación de Teorías Lógicas.

##### CASO 2: Evaluación:

T	L(T)	GD	Consilte (sin exceps.)	Gana ncia	Curso Medio ( $m\chi$ )	Spec. ( $m'\chi$ )	L(E T)	MDL <sub>1</sub>	PC(E T)	MDL <sub>2</sub>
T <sub>1</sub>	<b>11.5</b>	6	Sí	0.57	$\approx 1$	0.52	43.8	<b>55.3</b>	76.1	<b>87.6</b>
T <sub>2</sub>	101.1	1	No	0.02	= 0.5	0.5	0	101.1	43.0	144.1
T' <sub>2</sub>	35.4	2.17	No	$\approx 1$	0.91	0.66	23.2	58.6	58.9	94.3
T <sub>3</sub>	81.9	1.33	No	0.13	0.74	0.66	10.8	92.7	94.1	176.0
T <sub>4</sub>	43.7	4	No	0.58	$\approx 1$	0.56	36.0	79.7	70.9	114.6
T' <sub>4</sub>	23.3	4	Sí	0.75	$\approx 1$	0.56	36.0	59.3	77.9	101.2
T <sub>5</sub>	84.5	1.25	No	0.43	0.836	0.77	8.83	93.3	70.3	154.8
T <sub>6</sub>	53.8	1.58	Sí	0.68	0.987	<b>0.82</b>	15.6	69.4	81.9	135.7

## 3. APLICACIONES.

### 3.1. Evaluación y Generación de Teorías Lógicas.

#### **CASO 3: Evidencia Positiva y Negativa Parciales.**

La evidencia positiva  $E^+$  es la misma especificación *parcial* del predicado *reach* formado por: 12 hechos de los 19 totales.

$$E^+ = \{ \text{reach}(0,3). \text{reach}(0,4). \text{reach}(0,5). \text{reach}(0,8). \\ \text{reach}(3,2). \text{reach}(3,4). \text{reach}(3,5). \text{reach}(3,8). \\ \text{reach}(4,6). \text{reach}(4,8). \text{reach}(6,8). \text{reach}(7,8) \}$$

pero además:

$$E^- = \{ \text{reach}(8,3). \text{reach}(5,4). \text{reach}(0,7). \}$$

## 3. APLICACIONES.

### 3.1. Evaluación y Generación de Teorías Lógicas.

CASO 3: Teorías (las mismas que en el caso 2):

Teoría	Programa
T <sub>1</sub>	reach(X,Y)
T <sub>2</sub>	reach(0,3). reach(0,4). reach(0,5). reach(0,8). reach(3,2). reach(3,4). reach(3,5). reach(3,8). reach(4,6). reach(4,8). reach(6,8). reach(7,8).
T' <sub>2</sub>	reach(0,X). reach(3,X). reach(X,8). reach(4,6).
T <sub>3</sub>	reach(X,Y) :- linked(X,Y). reach(0,2). reach(0,4). reach(0,5). reach(0,6). reach(0,8). reach(3,5). reach(3,6). reach(3,8). reach(4,8).
T <sub>4</sub>	reach(X,Y) :- linked(X,Y). reach(X,Y) :- linked(X,Z). (T' <sub>4</sub> )
T <sub>5</sub>	reach(X,Y) :- linked(X,Y). reach(X,Y) :- linked(X,Z), linked(Z,Y). reach(0,5). reach(0,8). reach(3,8).
T <sub>6</sub>	reach(X,Y) :- linked(X,Y). reach(X,Y) :- linked(X,Z), reach(Z,Y).

# 3. APLICACIONES.

## 3.1. Evaluación y Generación de Teorías Lógicas.

### CASO 3: Evaluación:

T	L(T)	GD	Consilte. (sin exceps.)	Gana ncia	Curso Medio ( $m\chi^0$ )	Spec. ( $m'\chi^0$ )	L(E T)	MDL <sub>1</sub>	PC(E T)	MDL <sub>2</sub>
<b>T<sub>1</sub></b>	11.5	6	Sí	0.57	0.78	0.50	43.8	<b>55.3</b>	76.1	<b>87.6</b>
T <sub>2</sub>	101.1	1	No	0.02	= 0.5	0.5	0	101.1	43.0	144.1
<b>T'<sub>2</sub></b>	35.4	2.17	No	≈ 1	0.87	0.79	23.2	58.6	58.9	94.3
T <sub>3</sub>	81.9	1.33	No	0.13	0.74	0.68	10.8	92.7	94.1	176.0
<b>T<sub>4</sub></b>	43.7	4	No	0.58	0.94	0.63	36.0	79.7	70.9	114.6
<b>T'<sub>4</sub></b>	23.3	4	Sí	0.75	0.94	0.63	36.0	59.3	77.9	101.2
T <sub>5</sub>	84.5	1.25	No	0.43	0.836	0.79	8.83	93.3	70.3	154.8
T <sub>6</sub>	<b>53.8</b>	1.58	Sí	0.68	0.987	<b>0.86</b>	15.6	69.4	81.9	135.7

## **3. APLICACIONES.**

### **3.1. Evaluación y Generación de Teorías Lógicas.**

El refuerzo se comporta igual o mejor que el principio MDL en todos los casos:

- evidencia positiva total.
- evidencia positiva parcial.
- evidencia positiva y negativa parciales.
- evidencia con ruido.

## 3. APLICACIONES.

### 3.2. Medición de Capacidades Intelectuales.

Requerimientos para evaluar la capacidad de inferencia:

- *gradual,*
- *factorial,*
- *no antropomórfica,*
- *computacionalmente fundada,*
- *significativa.*

**Comprensibilidad (Versión Corregida).** Una cadena  $x$  es  $k$ -difícil (o  $k$ -incomprensible) dada  $y$ , denotado por  $incomp(x | y)$ , en un sistema descriptivo  $\beta$  si  $k$  es el menor número entero positivo tal que:

$$Et_{\beta}(x | y) \cdot G(\text{SED}(x | y) | \langle x, y \rangle) \leq k \cdot \log l(x)$$

### 3. APLICACIONES.

#### 3.2. Medición de Capacidades Intelectuales.

##### Construcción del C-test:

Se eligen aleatoriamente  $p$  secuencias  $x^{k,p}$ , siendo  $k$ -incomprensibles,  $c$ -plausibles,  $c$ - $m$ -incuestionables y  $d$ -estables con  $d \geq r$ , siendo  $r$  el número de símbolos redundantes de cada ejercicio.

Las cuestiones son las secuencias  $K$   $p$  sin sus  $d - r$  elementos ( $x^{k,p}_{-(d+r)}$ ). Se proporcionan a  $S$  y se pregunta por el siguiente elemento según la mejor explicación que es capaz de construir. Se deja a  $S$  un tiempo fijo  $t$  y se registran sus respuestas:  $guess(S, x^k_{-d+r+1})$ .

$$I(S) = \sum_{k=1..K} k^e \cdot \sum_{i=1..p} hit[x^{k,i}_{-d+r+1}, guess(S, x^{k,i}_{-d+r+1})]$$



## **3. APLICACIONES.**

### **3.3. Otras Aplicaciones.**

#### Aplicaciones Específicas:

- Sistemas de Información
- Validación y mantenimiento de sistemas software.
- Sistemas multiagente, lenguaje natural, interacción con el usuario, ...

#### Aplicaciones Genéricas:

- Adquisición y recuperación de conocimiento.

## 4. APORTACIONES PRINCIPALES.

- *Una nueva y más apropiada medida efectiva de ganancia de información computacional  $G(x|y)$ .*
- *Nuevas medidas de Ganancia de Representación y Optimalidad Representacional.*
- *$G(x|y)$  es una Medida Uniforme para Inducción y Deducción.*
- *Una nueva medida de refuerzo que cuantifica la propagación de confirmación en una teoría.*
- *La medida de refuerzo se comporta como medida de confirmación de manera consistente para diferentes procesos de inferencia y detalla la plausibilidad de reglas y predicciones.*

## 4. APORTACIONES PRINCIPALES.

- *Se reconoce formalmente la necesidad de información intermedia y se deriva un criterio de olvido.*
- *Se matematiza la idea de intensionalidad en términos de intolerancia o prohibición de excepciones.*
- Definición de una variante explicativa de la complejidad Kolmogorov como *contrapartida explicativa al principio MDL.*
- *Un test no-antropomórfico de inteligencia, basado en nociones computacionales y de teoría de la información.*
- *La aplicación de las medidas a diferentes tipos de sistemas lógicos y basados en el conocimiento.*

## 5. CONCLUSIONES.

Las medidas y conceptos introducidos:

- permiten un análisis detallado del valor de la salida de cualquier proceso de inferencia con respecto a la entrada y el contexto, tanto en términos de informatividad como de confirmación.

- han servido (solas o combinadas) para formalizar, comprender y relacionar diversas nociones relevantes que han sido tradicionalmente bastante ambiguas:

*novedad, explicitéz/implicitéz, informatividad, intensionalidad, sorpresa, comprensibilidad, consiliencia, utilidad, incuestionabilidad, ...*

- son compatibles entre sí y se pueden utilizar para combinar y aprovechar los avances separados en la automatización de diferentes procesos de inferencia.