EPISTEME NS, Vol. 23, Nº 1, 2003, pp.89–122

LEVIS ZERPA

LAS LEYES *CETERIS PARIBUS* Y LA LÓGICA NO MONÓTONA*[1]

A la memoria de Emilio Landáez

"*There is, I claim, a perfect good way in which commonsense laws could have absolute exceptions and still be true ceteris paribus.*"

JERRY FODOR

Resumen: En este trabajo consideramos un tipo de condicionales derrotables (*defeasible conditionals*) denominados "leyes ceteris paribus" o leyes CP, desde el punto de vista de la lógica por defecto de Reiter. Las leyes CP se caracterizan por su gran generalidad y su poder predictivo/explicativo. Con frecuencia estas leyes incluyen componentes causales e intencionales. En este contexto, el presente trabajo relaciona el tema de las leyes CP con la lógica no monótona de dos formas: 1) desde el punto de vista *sintáctico* las leyes CP son presentadas como un tipo de reglas por defecto y 2) desde el punto de vista *semántico* los modelos de las teorías en las cuales aparecen leyes CP son modelos preferenciales. De este modo, la presente investigación complementa el trabajo de Silverberg (1996), y sitúa el tema de las leyes CP como un ámbito de aplicación de la lógica no monótona.

Palabras clave: Condicionales derrotables, lógica por defecto, inteligencia artificial.

* Recibido: 03-02-2002 ☼ Aceptado: 15-07-2002

1 Agradezco al Prof. Carlos Di Prisco por la oportunidad que me brindó de presentar algunos de estos resultados en el Seminario de Lógica Matemática que él dirige (en junio de 2002). También agradezco al Prof. Markus Schrenk (Oxford) por su valiosa ayuda en relación a algunas referencias claves, entre ellas el artículo de Silverberg referido en la nota 7.

CETERIS PARIBUS LAWS AND NONMONOTONIC LOGIC

Abstract: In this work we consider a type of defeasible conditionals known as "*ceteris paribus laws*" or CP laws, from the point of view of logic by default of Reiter. The CP laws are characterized by their generality and their predictive/explicative power. These laws frequently include causal and intentional components. In this context, the present work relates the subject of CP laws with the non-monotonons logic in two ways: 1) from a *syntactic* point of view, CP laws are presented as a type of default rules and 2) from a *semantic* view, the theoretical models in which CP laws appear are preferential models. In this way, the present research complements Silverberg(1996)´s work, and locates the topic of CP laws as an application context of the non-monotonons logic.

Key words: Defeasible conditionals*,* logic by default, artificial intelligence.

1. Introducción

Numerosos análisis del razonamiento basado en el sentido común en Inteligencia Artificial (IA) y algunos análisis del razonamiento científico en filosofía de la ciencia y del razonamiento normativo en lógica deóntica, entre otros, han concentrado sus esfuerzos en el *razonamiento derrotable* (*defeasible reasoning*), a saber, el tipo de razonamiento no-monótono que formaliza la revisión de creencias tentativas a la luz de nueva evidencia. Dentro del campo del razonamiento derrotable tienen especial interés los llamados condicionales derrotables (*defeasible conditionals*). Y entre ellos, las leyes o generalizaciones que contienen las llamadas cláusulas *ceteris paribus* o "leyes *ceteris paribus*" ("leyes CP" para abreviar), presentan algunas características que han motivado algunos análisis y debates interesantes en filosofía de la ciencia e IA, especialmente en la filosofía de la psicología.

Nos interesa mostrar lo siguiente: *primero*, cuáles son los aspectos fundamentales que caracterizan de las leyes CP; *segundo*, por qué es importante tratar el problema del razonamiento derrotable y, más específicamente, de las leyes CP, dentro de la lógica no monótona;[2] *tercero*, bosquejar de qué modo se puede construir una teoría adecuada de las leyes con cláusulas CP basada en la sintaxis y la semántica de la lógica no monótona.

Las cláusulas CP son frases del tipo 'normalmente' (o 'en condiciones normales'), 'salvo factores extraños', 'si nada interfiere', 'el resto permanece igual' o 'todas las otras cosas permanecen iguales'. Estas cláusulas son de uso muy corriente tanto en el razonamiento basado en el sentido común como en el razonamiento científico, y aparecen constantemente en muchas expresiones como, por ejemplo, las siguientes:

(1) La sensación de peligro produce, *salvo factores inhibidores*, un repentino incremento en la producción de adrenalina.

(2) En condiciones normales, una dosis de 10 mg de benzodiacepina produce somnolencia.

(3) En los días laborales voy al trabajo, los domingos voy al parque, salvo que ocurra algo fuera de lo común.

(4) En general, si oprimo el switch de la luz en la habitación, ésta se enciende.

(5) Si una persona desea *p*, y cree que realizando cierta acción lo obtendrá, y si además la acción es posible y la persona así lo cree y no cree que hacer *p* se opone a nada que desee tanto o más que p, entonces, *si nada interfiere*, realizará la acción.

Frecuentemente las cláusulas CP no se formulan explícitamente sino que se asumen de manera *implícita*, por ejemplo:

(1') La sensación de peligro produce un repentino incremento en la producción de adrenalina.

---

2 En forma natural surgen preguntas como éstas: ¿no se tratará de una elección apresurada? ¿acaso el tratamiento de las leyes CP en lógica clásica genera paradojas? (en la sección 5 veremos una respuesta afirmativa a esta pregunta).

(3') En los días laborales voy al trabajo, los domingos voy al parque.

Obviamente (1') es equivalente a (1) y (3') es equivalente a (3). Y la misma observación se aplica a los restantes ejemplos.

Por otra parte, las reglas condicionales que aparecen en los sistemas expertos son, con frecuencia, leyes CP con cláusulas CP asumidas tácitamente. Por ejemplo, consideremos la siguiente:[3]

(6) IF: (1) The heat transfer from the primary coolant system to the secondary coolant system is inadequate,

(2) the feedwater flow is low

THEN: The accident is loss of feedwater.

Al examinar con detenimiento los distintos ejemplos vemos diferencias entre ellos, por ejemplo, algunos enunciados expresan una clara conexión *causal* entre el antecedente y el consecuente (como en el último ejemplo), mientras otros no presentan ese aspecto; igualmente algunos tienen un componente *intencional* (como en los ejemplos (1) y (5)), mientras otros no tienen ese componente. Pero todos tienen al menos tres aspectos comunes, a saber: 1) son enunciados *condicionales*, 2) todos tienen implícita o explícitamente una *cláusula CP* y 3) están *cuantificados universalmente*. Nótese que el aspecto (2) resta plausibilidad a la simbolización de estos enunciados mediante $\forall x(Fx \rightarrow Gx)$ (donde '$\rightarrow$' denota la implicación material) o $\forall x(\neg Fx \vee Gx)$ o cualquier otra fórmula equivalente del cálculo proposicional clásico. El pro-

3 Esta regla pertenece al sistema experto REACTOR (creado por William R. Nelson y presentado en AAAI'82), el cual monitorea los instrumentos de lectura de un reactor nuclear para detectar signos de un posible accidente. Véase las referencias sobre este sistema en Waterman, D. A., *A Guide to Expert System*, Readings, Massachusetts, Addison-Wesley, 1986, pp. 36 y 260-261. Los sistemas expertos basados en reglas en los cuales se llevan a cabo labores de monitoreo y diagnosis en medicina e ingeniería con frecuencia tienen reglas condicionales de este tipo.

blema es que se requiere un operador que represente la relación "*ser una excepción o factor inhibidor* de una ley de la forma $\forall x(Fx \rightarrow Gx)$" y, por supuesto, tal operador no aparece en el cálculo de predicados clásico (probablemente se pueda demostrar algo más fuerte: un operador de ese tipo no es definible en el cálculo de predicados clásico sino en una extensión no trivial del mismo).

Por otra parte, las características (2) y (3) parecen entrar en conflicto puesto que, por un lado, el alcance de la cuantificación universal en (3) se supone que abarca a *todos* los individuos del universo del discurso en el cual se formula la ley CP[4] (si seguimos la lógica clásica), pero, por otro lado, (2) implica que dicha ley tiene *excepciones*, esto es, que hay individuos del universo del discurso en el cual se formula la ley CP para los cuales la ley *no* se cumple, pues en esos casos entran en juego *factores inhibidores* que impiden su cumplimiento. Por esa y otras razones se ha llegado a afirmar que no hay leyes CP pues se trataría de un concepto contradictorio y vacío, y se han presentado diversos argumentos escépticos (analizamos con detalle uno de ellos, el de P. Mott, en la sección 5).

Los tres aspectos discutidos se resumen en la siguiente formulación general:

(7) "Todos los A son B *ceteris paribus*."

Algunos autores[5] usan fórmulas de la forma '$cp(A \rightarrow B)$', '$cp(\forall x(Fx \rightarrow Gx))$' o '$cp[\forall x(Fx \rightarrow (\exists y)Gy)]$' (donde '$\rightarrow$' representa la implicación material) para enfatizar que la implicación CP es distinta de la implicación material (es más débil). Pero, por supuesto, un cálculo proposicional extendido con condicionales CP requiere el establecimiento de una o más reglas para la formación de fórmulas con estas cláusulas. Por ejemplo, "si $\varphi \rightarrow \psi$ es una fórmula, entonces $cp(\varphi \rightarrow \psi)$

[4] O todas las instancias de sustitución de dicha ley. El problema planteado afecta a cualquiera de las interpretaciones de $\forall$.

[5] Véase la nota 7.

también lo es", e igualmente para $cp(\forall x(Fx \rightarrow Gx))$. Pero para formular un cálculo de este tipo se requiere saber mucho más sobre las propiedades que posee el operador $cp(\rightarrow)$.

En el caso que además de los aspectos (1) a (3) se presente el componente causal, entonces (7) se reemplaza por

(8) "Todos los A son causa de todos los B *ceteris paribus*."

Nótese que las excepciones a los principios codificados en las reglas condicionales de los sistemas expertos son el factor que explica, al menos en parte, los ocasionales errores que estos programas producen. Como bien advierte Waterman:

> While conventional programs are designed to produce the correct answer every time, expert systems are designed to behave like experts, usually producing correct answers but sometimes producing incorrect ones.[6]

De los debates sobre el tema, el planteado a comienzos de la década de los años 90' por Stephen Schiffer y Jerry Fodor en el análisis de las leyes de la *psicología del sentido común* (*commonsense psychology*)[7] ha recibido particular interés en filosofía de la ciencia por la calidad y precisión de algunos de sus análisis y objeciones. Ahora bien, según veremos, el tema también tiene especial interés para la IA debido a la posibilidad de *aplicar el concepto de ley CP a algunas leyes de la IA* (después veremos un ejemplo) y al análisis de las reglas condicionales en los sistemas expertos (posiblemente una implementa-

---

6 Waterman, *"A Guide to…"* cit., p. 29.

7 Véase Schiffer, S., "Ceteris Paribus Laws", *Mind*, 100, (1991), pp. 1-17; Fodor, J., "You Can Fool Some of the People All of the Time, Everything Else Being Equal; Hedged Laws and Psychological Explanation", *Mind*, 100, (1991), pp. 19-34; Mott, P., "Fodor and Ceteris Paribus Laws", *Mind*, 101, (1992), pp. 335-346; Pietroski, P. y Rey, G., "When Other Things Aren't Equal: Saving Ceteris Paribus Laws from Vacuity", *The British Journal for the Philosophy of Science*, 46, (1995), pp. 81-110; y Silverberg, A., " Psychological Laws and Non-Monotonic Logic", *Erkenntnis*, 44, (1996), pp. 199-224. Algunos aspectos del debate aparecen expuestos en Díez, J. y Moulines, U., *Fundamentos de Filosofía de la Ciencia*, Barcelona, Ed. Ariel, 1997, cap. 5, secc. 4. Varios de los ejemplos que consideramos aquí son tomados de ese libro (pero el tratamiento del tema vía lógica no monótona *no* aparece tratado en ese libro).

ción de una teoría de este tipo puede formar parte de las herramientas de depuración (*debugging*)).

Más específicamente, en este trabajo enfocamos la atención en los trabajos de Schiffer, Fodor, Mott y Silverberg.[8] De estos trabajos, el de Silverberg se destaca pues analiza y resume bien los principales aspectos de los trabajos anteriores y plantea la conexión específica entre el tema de las leyes CP y la lógica no monótona de un modo explícito. No obstante, como veremos en detalle, sólo plantea la conexión con algunos aspectos *semánticos* de la lógica no monótona, mientras que nuestra propuesta atañe tanto a los aspectos *sintácticos* como a los *semánticos*.

Ahora bien, en vista que las leyes CP son casos particulares de condicionales derrotables, cabe preguntarse, ¿que características distintivas poseen las leyes CP que las haga merecedoras de un análisis aparte de los otros tipos de condicionales derrotables? Por un lado, ellas se destacan por su notable generalidad y notable poder predictivo y explicativo.[9] Por otro lado, el mencionado conflicto entre las características (2) y (3) (su generalidad *y* sus excepciones) causa perplejidades que han motivado las críticas y posiciones escépticas sobre el rol de las leyes CP en el sentido común y en la ciencia (por parte de Schiffer y Mott,[10] entre otros). Así pues, una motivación importante para este trabajo es la siguiente: *el escepticismo sobre las leyes CP derivado de los análisis que emplean exclusivamente la lógica clásica puede ser evitado y superado de manera precisa mediante un análisis basado en la sintaxis y la semántica de la lógica no monótona*.

Más específicamente, nuestro objetivo fundamental es mostrar un tratamiento de las leyes CP en términos de uno de los formalismos mejor conocidos y rigurosamente desarrolla-

8 Cf. Schiffer, *"Ceteris Paribus Laws…"* cit. pp. 1-17; Fodor, *"You Can Fool…"* cit., pp. 19-34; Mott, *"Fodor and Ceteris…"* cit., pp. 335-346 y Silverberg, *"Psychological Laws and…"* cit., pp. 199-224.

9 Para un tratamiento introductorio general del tema de las leyes científicas, Cf. Díez y Moulines, *"Fundamentos de Filosofía..."* cit., cap. 5.

10 Véase Schiffer, *"Ceteris Paribus Laws…"* cit. pp. 1-17 y Mott, *"Fodor and Ceteris…"* cit., pp. 335-346.

dos de la lógica no monótona: la *lógica por defecto o predefinida* (*default logic*) de Reiter.[11] Así, al aspecto semántico tratado por Silverberg (empleando el concepto de *satisfacción preferencial* de Shoham), agregamos dos aspectos: primero, mostramos un modo alternativo de formular la *sintaxis* de estas leyes formalizadas como un tipo de *reglas por defecto* (*defaults*). Segundo, indicamos brevemente otros aspectos que pueden ser tratados mediante la lógica por defecto (por ejemplo, *"completar" leyes CP en el sentido de Fodor* puede entenderse como la obtención de *extensiones* de la teoría por defecto que incluye esa ley CP).

Este trabajo es un reporte preliminar de una investigación más amplia y detallada sobre el razonamiento no monótono.

2. *¿En qué se diferencia la implicación ceteris paribus de la implicación material?* Aspectos básicos de las leyes CP en el razonamiento científico y en el razonamiento basado en el sentido común.

Existe acuerdo en que las leyes científicas son aseveraciones *generales* que expresan *regularidades* de cierto tipo. Se sabe que, cómo mínimo, estas aseveraciones involucran fórmulas de la forma $\forall x$ $(Fx \rightarrow Gx)$ y que el operador 'es una ley...' no es veritativo-funcional (Fodor),[12] lo cual trae como consecuencia que la legalidad no se preserva bajo la consecuencia lógica e involucra problemas semánticos similares a los que presentan los operadores de creencia y otros operadores modales de los sistemas de lógica modal usados en Inteligencia Artificial y Lógica Filosófica. Ahora bien, el aspecto en el cual enfocaremos ahora nuestra atención es la distinción (formulada de diversas maneras) entre leyes *estrictas* y leyes *no estrictas* o *interferibles* o simplemente leyes CP. Todos los ejemplos mencionados en la introducción ilustran el segundo

11 Cf. Reiter, R., "A Logic for Default Reasoning", *Artificial Intelligence*, 13, (1980), pp. 81-132 y Marek, V. W. y Truszczynski, M., *Nonmonotonic Logic: Context-Dependent Reasoning*, Berlín, Springer, 1993, caps. 3 a 6. La reconstrucción se lleva a cabo en la sección 7.

12 Véase la nota 9.

tipo de leyes, mientras que la segunda ley de Newton y otras leyes físicas *muy generales* (por ejemplo, ciertas leyes en relatividad general) caen dentro del primer tipo. ¿Por qué? Pues mientras la segunda ley de Newton (en su versión clásica o relativista)[13] no parece tener excepciones, esto es, no podemos especificar factores que puedan bloquear o impedir su cumplimiento en determinadas circunstancias, las leyes del segundo tipo sí tienen claramente un conjunto de excepciones, esto es, ellas se cumplen *sólo si* los factores inhibidores que bloquean o impiden su cumplimiento no se encuentran presentes en la situación bajo escrutinio.[14] Podemos trazar esta distinción con más claridad si especificamos los *aspectos básicos* que caracterizan a las leyes CP.

En *primer lugar*, la distinción leyes estrictas/CP surge de manera natural cuando consideramos algunas leyes respecto a las cuales nos resulta enormemente fácil especificar algunas *excepciones* a las mismas, esto es, casos en los cuales lo previsto en ellas puede ser *interferido* o *inhibido* por factores externos de distinto tipo. Así, en el ejemplo (1) de la introducción es simple considerar factores inhibidores; por ejemplo, una lesión que afecte seriamente el normal funcionamiento

---

13 La versión relativista es $\boldsymbol{F} = d/dt(m\gamma v)$, donde γ es el factor de corrección $\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$ y $\beta = \frac{v}{c}$ (v denota la velocidad del objeto y c la velocidad de la luz en el vacío). La versión relativista se reduce a la versión clásica cuando $\gamma \approx 1$.

14 En la reconstrucción lógica de la versión clásica llevada a cabo por U. Moulines (en *Exploraciones metacientíficas*, Madrid, Alianza, 1982), se constata que el grado de la *cuantificación* permite determinar que se trata de un principio *empíricamente irrestricto*, por lo tanto, no es refutable ni confirmable por los medios convencionales aplicables a las generalizaciones de bajo nivel, ni tampoco lo es mediante experimentos mentales. Luego, *no es posible señalar excepciones o factores inhibidores que bloqueen su cumplimiento*. Esta conclusión apoya la evidencia histórica acerca del carácter *extremadamente general* que muchos autores (como Schlick o Poincaré) atribuyeron a esa ley. Véase la tabla de usos de la segunda ley de Newton en Hanson, N. R., *Patrones de descubrimiento. Investigación sobre las bases conceptuales de la ciencia*, Madrid, Alianza, 1985. Para una exposición de estos resultados véase también Zerpa, L, "¿Análisis histórico versus análisis lógico en filosofía de la ciencia? Notas sobre una polémica" en *Cuadernos Venezolanos de Filosofía*, Ediciones Previas No. 18, Caracas, 1989.

de la glándula suprarrenal puede inhibir (parcial o totalmente) la producción de adrenalina frente a una situación de peligro. Del mismo modo la intolerancia a la benzodiacepina, el inicio de una guerra civil en un día laboral, un bombillo quemado, una falla en otra parte del reactor, pueden invalidar lo previsto (las *expectativas* expresadas) en los ejemplos (2), (3), (4) y (6). Igualmente, un paciente con una severa lesión cerebral o en estado de coma es un factor inhibidor tanto de (1) como de (5). A pesar de estas excepciones, no dudamos de la validez de esas leyes, pues éstas precisamente señalan que, *salvo factores inhibidores*, se produce el efecto previsto en el consecuente dada la verificación del antecedente. No *renunciamos a considerar a estas leyes como sentencias verdaderas (o altamente probables)*[15] *a pesar de tener excepciones*. No consideramos falsada una ley CP por el hecho de tener excepciones. Y esta conducta, este uso de las leyes CP, es propio tanto del razonamiento científico (en química, medicina, psicología y muchas otras disciplinas) como del razonamiento basado en el sentido común, propio de humanos o de agentes inteligentes. De allí la conveniencia de utilizar cuantificadores "borrosos" o más débiles del tipo "normalmente se cumple que..." o "en condiciones normales se cumple que..." propios de la lógica por defecto, en lugar del cuantificador universal irrestricto propio de la lógica clásica. Dicho negativamente: las leyes CP *no* satisfacen descripciones como la que Popper proporciona de las leyes naturales en la *Lógica de la investigación científica:*

> ...las leyes naturales pueden compararse a 'vetos' o 'prohibiciones'. (...) Y precisamente por esto es por lo que son *falsables*: si aceptamos que es verdadero un enunciado singular que –como si dijéramos- infringe la prohibición, por afirmar la existencia de una

---

15 Sobre la interpretación *probabilista* (E. Adams) y la interpretación basada en la *preferencia modelo-teórica* (Shoham) de los condicionales por defecto véase Geffner, H., *Default Reasoning: Causal and Conditional Theories*, Cambridge, Massachusetts, MIT Press, 1992, caps. 2 y 3. La segunda interpretación será expuesta en la sección 5.

> cosa (o la aparición de un acontecimiento) excluida por la ley, entonces la ley queda refutada.[16]

Esta descripción se aplica a las leyes estrictas pero muchas leyes científicas (como las leyes biomédicas al estilo de (1) y (2) o leyes psicológicas como (5) y muchas otras) no lo son. Resumiendo: las leyes CP son enunciados *condicionales* con un componente *nomológico* (son leyes y no meras generalizaciones accidentales) y tienen un conjunto de *excepciones* o factores inhibidores.

En *segundo lugar*, una vez reconocido que una ley CP tiene una cierta cantidad de factores inhibidores, entonces ¿podemos *enumerar* en forma *efectiva* esos factores?. Lo que desconcierta de la ley CP es que ella misma contempla la posibilidad de interferencias o excepciones, pero con frecuencia *no es posible determinar de manera eficiente y/o completa* la lista de factores inhibidores ni mediante una *lista* explícita (de un modo extensional) ni mediante alguna *propiedad* común (de un modo intencional). En todos los ejemplos considerados *siempre podemos encontrar o concebir*[17] *nuevos factores inhibidores*. En consecuencia, *la falta de información* puesta de manifiesto por la cláusula CP no es algo provisional, *es* un *dato irreductible a algo más básico*. Por ejemplo, Churchland proporciona el siguiente análisis de (5) (donde A es un agente):[18]

(9) $\forall p \forall q$ [(si A cree $p \wedge A$ cree que $p \rightarrow q$) $\rightarrow$ excepto confusión, distracción, etc., A cree q]

Es obvio que la enumeración termina en un decepcionante 'etcétera', puesto que no tenemos a disposición ningún modo claro de completar la enumeración de todos los factores inhibidores de la acción (el efecto que el agente A crea q). Así

---

16 Véase Popper, K., *La lógica de la investigación científica, Madrid*, Ed. Tecnos, 1980, secc. 15.

17 Por ejemplo, empleando experimentos mentales.

18 Cf. Schiffer, *"Ceteris Paribus Laws…"* cit., p. 3.

que en casos como éstos la información incompleta es un dato inicial. Nótese que (9) se caracteriza por lo siguiente:

- es una fórmula condicional,
- está cuantificada universalmente,
- aparecen en ella operadores de creencia,
- aparece en ella un conjunto de excepciones (que se corresponden con los términos $\beta_1, \ldots, \beta_n$ de Reiter y que veremos en la sección 6),
- es difícil interpretar la implicación en (9) sin apelar a un cierto tipo de conexión causal entre el evento descrito por el antecedente "si A cree $p \wedge A$ cree que $p \rightarrow q$" y el evento descrito por el consecuente "A cree q".

En *tercer lugar*, nótese que las excepciones existen a pesar de que en muchas formulaciones las cláusulas CP no aparecen explícitamente formuladas, sino que se asumen de manera *implícita*. Como ya hemos dicho, (1') equivale a (1) y lo mismo se aplica a los otros ejemplos.

En *cuarto lugar*, ya hemos mencionado la perplejidad que suscita la generalidad y la existencia de excepciones cuando se las considera conjuntamente. Esta perplejidad frecuentemente tiene como consecuencia que se considere al concepto de ley CP como vacío por ser contradictorio o inherentemente oscuro.[19] Como muy bien resume Mott:

> The risk is that '*ceteris paribus* if A then B' should say no more than 'if A then B, or there again, perhaps not', and that can hardly be an *explanandum* for anything.[20]

De allí que la primera tarea a realizar en el análisis de las leyes CP es determinar sus *condiciones de verdad*. Sólo mos-

---

19 Mott y Schiffer argumentan a favor de estas posiciones escépticas. Petroski y Rey, presentan una interesante condición suficiente para la no vacuidad de una ley CP de la forma $cp[\forall x(Fx \rightarrow (\exists y)Gy)]$ en términos del cálculo de predicados clásico extendido con fórmulas de la forma '$cp(\rightarrow)$' en: Petroski y Rey "When Other Things…", cit., p. 92.

20 Mott, *"Fodor and Ceteris…"*, cit., p. 335.

trando que las leyes CP son verdaderas o falsas de manera no trivial tiene sentido usarlas. Tal es el punto de partida de Fodor, que nosotros asumimos como correcto y que tratamos en detalle en la próxima sección.

En *quinto lugar*, los aspectos (3) y (4) pueden resumirse en uno solo: las leyes CP son expresiones *incompletas*. Esto es, las leyes CP son leyes incompletas precisamente debido a la presencia de un conjunto no completamente especificado de factores inhibidores. Y, si las leyes CP son fórmulas incompletas, es natural preguntarse ¿cómo pueden completarse? dada una teoría donde aparezca una cierta ley CP, ¿cómo podemos obtener una *extensión* de esa teoría en la cual esa ley aparezca formulada de manera completa? Como veremos en la sección 7, mediante la lógica por defecto podemos reformular con precisión la respuesta que Fodor da a esta pregunta.

En *sexto lugar*, las leyes CP pueden contener o no dos aspectos muy importantes pero prescindibles: el componente *causal* y el componente *intensional*. En la IA estos dos componentes tienen mucha importancia. Este último aparece en tanto la ley CP hace referencia a cómo las cosas y los eventos aparecen para los agentes y a las creencias que éstos tienen de distintos aspectos del mundo (como en (1), (2), (5)). En general, consideramos como leyes intensionales aquellas en las que aparecen operadores referentes a estados mentales o perceptuales de un agente. De hecho, algunas de las leyes CP pueden interpretarse como enunciados acerca del conjunto de creencias que un agente tiene en determinadas circunstancias. Por supuesto, esto motiva aún más un tratamiento de las sentencias CP mediante la lógica no monótona pues estos formalismos a menudo se interpretan como la revisión de creencias de un agente en un entorno con información incompleta. Por otra parte, el carácter intensional de las leyes en ciencia cognitiva es puesto de relieve con énfasis por Fodor: "The central goal of theory construction in cognitive science is *to explicate the computational mechanisms that implement intentional laws*".[21] Esta idea va en la misma línea de

---

21 Fodor, *"You Can Fool…"* cit., p. 20.

la interpretación de los formalismos no monótonos como revisión del conjunto de creencias de un agente.

En *séptimo lugar*, y como ya hemos dicho, resulta bastante claro que en ciencias tales como la psicología, la biología, la medicina, y otras, este tipo de leyes es muy frecuente, más aún, puede decirse con razón que quizás estas ciencias *sólo* contienen este tipo de leyes (En contraste, en física aparecen *ambos* tipos de leyes, como ya hemos visto).[22] Por tanto, un análisis lógico de las leyes CP es una condición necesaria para una adecuada metodología de estas ciencias. En palabras de Fodor:

> If there are psychological laws, then they must be *nonstrict*, they must be 'ceteris paribus' or 'all else equal' laws. (...) And now the worry is that the notion of ceteris paribus law is, at best, in want of explanation.[23]

En *octavo lugar*, nótese que las cláusulas CP no son eliminables apelando a probabilidades puesto que, al menos con frecuencia, la asignación misma de probabilidades es una información que no se tiene. Como bien señalan Díez y Moulines, "*puede ocurrir el suceso antecedente y no darse el suceso consecuente, y ello sin que se trate (al menos aparentemente) de una ley probabilista*".[24] McCarthy también ha señalado con énfasis este punto.[25] No obstante, esto no descarta, en modo alguno, una interpretación probabilista de las leyes CP, que en muchos casos es completamente pertinente.[26]

Recapitulando, un tratamiento general de las leyes CP comprende los siguientes aspectos:

- *forma condicional*: son enunciados condicionales,
- componente *nomológico*: son leyes,
- presencia de *excepciones* (E),

---

22 Por eso es que el concepto de "ley natural" es ambiguo.

23 Fodor, *"You Can Fool…"* cit., p. 21.

24 Díez y Moulines, *"Fundamentos de Filosofía..."* cit., pp. 149-150.

25 Cf. McCarthy, J., "Circumscription -A Form of Non-Monotonic Reasoning", *Artificial Intelligence*, vol. 13, 1980, pp. 27-39, (especialmente la sección 3)

26 Cf. Geffner, *"Default Reasoning: Causal…"* cit., cap. 2.

- dificultad de *enumerar en forma efectiva* a (E),
- frecuente formulación *implícita* de (E),
- las *condiciones de verdad* son no triviales: condiciones de *no vacuidad*,
- las leyes CP son expresiones *incompletas*,
- componentes opcionales pero importantes: *causalidad* e *intencionalidad*,
- no todas las leyes CP pueden interpretarse en forma *probabilista*.

El séptimo aspecto (las leyes CP como expresiones *incompletas*) merece un tratamiento aparte, el cual llevamos a cabo en la próxima sección.

1. *Leyes CP causales e intensionales: el análisis de Fodor-Schiffer*

Las condiciones de verdad de una ley CP, el tipo de excepciones que ellas presentan, y la forma en que las leyes CP pueden ser "completadas" de modo no vacío y no trivial, son algunos de los aspectos que Fodor y Schiffer tratan en sus análisis. Cómo ya hemos dicho, el tema de las leyes CP tiene sentido sólo si se puede establecer, de un modo no trivial, las condiciones que deben satisfacerse para decir que una cierta ley CP es verdadera o falsa. Silverberg[27] presenta en su artículo una exposición muy clara y detallada de muchos de los aspectos principales del debate de Fodor y Schiffer, así que en lugar de repetir de nuevo su exposición, preferimos remitir al lector a su trabajo. Ahora bien, hay un aspecto del debate que Silverberg no trata y que puede ser parcialmente elucidado con precisión y claridad mediante la noción de *extensión* de una teoría por defecto en lógica no monótona. Me refiero al séptimo de los aspectos vistos en la sección anterior, a saber, la concepción de Fodor de una ley CP como una enunciado "incompleto" que puede ser *completado* en un ámbito determinado. Una vez planteada esta idea, Fodor se pregunta sobre el nivel al cual pertenecen los factores inhibidores y el "ámbi-

---

27 Cf. Silverberg, *"Psychological Laws and…"* cit., pp. 199-224.

to" en el cual puede llevarse a cabo la completación de la ley CP. El problema planteado y la solución de Fodor se refiere específicamente a las leyes CP causales e intencionales (como (1) y (5)). Ahora bien, para poder fijar la atención en esta importante fase del análisis, consideraremos provisionalmente que los componentes causal e intencional de las leyes CP son aspectos no problemáticos.

Consideremos, pues, algunos de los análisis de Fodor y Schiffer.[28] Sean p y q dos variables proposicionales. Escribimos la fórmula $cp\ (p \rightarrow q)$ que interpretaremos intuitivamente como "si p entonces q, *ceteris paribus*" donde $cp\ (\rightarrow)$ se considera como un operador binario de *implicación CP*. Supongamos que disponemos de un operador binario que establece una *conexión causal estricta* entre los eventos descritos por p y q, el cual denotamos por $nn\ (\rightarrow)$, lo cual nos permite escribir $nn\ (p \rightarrow q)$ entendido, según una semántica causal de mundos posibles, como "para cualquier mundo donde se verifican nuestras leyes naturales, siempre que p es verdadero, q es verdadero"[29] o "p es *causa* de q". (Una formulación distinta e interesante para la IA puede obtenerse si se replantea esta notación y el argumento que le sigue en una versión modal y causal de la lógica por defecto, empleando un operador causal y una semántica de Kripke).[30] Si p se interpreta como "A experimenta una fuerte sensación de peligro" y q como "el nivel de adrenalina en A experimenta un repentino incremento", entonces (1) es de la forma $cp\ (p \rightarrow q)$. Y lo mismo se aplica a los restantes ejemplos.

---

28 Cf. Schiffer, *"Ceteris Paribus Laws…"* cit., pp. 5 y ss.; Fodor, *"You Can Fool…"* cit., pp. 23 y ss., y Mott, *"Fodor and Ceteris…"* cit., secc. 2. Seguimos la versión de Silverberg en Silverberg, *"Psychological Laws and…"* cit., p. 203.

29 "*Since Fodor wants to invoke the Laws Of Nature to explicate $cp(M \rightarrow B)$ he assumes he has available a notion of strict causal connection which we will write $nn(\rightarrow)$ and interpret $nn(A \rightarrow B)$ to mean something like that in all worlds where our Laws Of Nature hold whenever A is true so is B.*" (Mott, *"Fodor and Ceteris…"* cit., p. 336).

30 Cf. Geffner, *"Default Reasoning: Causal…"* cit., cap. 5, especialmente las secciones 5.2 a 5.6 y Marek, y Truszczynski, *"Nonmonotonic Logic: Context-Dependent..."* cit., secc. 7.2.

Sean ahora *B*, C, *M* y *R* conjuntos de estados de un agente. Interpretemos al conjunto *M* como un conjunto de estados *intensionales* del agente *A* (ejemplo: *A* tiene una sensación de peligro o *A* cree *p*) y a los conjuntos *B* y *C* como dos conjunto de estados *físicos* del mismo (ejemplo: el nivel de la adrenalina en *A* es *n*). Sea el predicado binario *Realiza*(*x*, *y*) o "*x realiza* a *y*" o "*x* es un *realizador* de *y*" y se interpreta como "el estado físico *x* realiza al estado intencional *y*" (ejemplo: $r_0 \in R$ realiza a $m_0 \in M$).

Con estas expresiones enunciamos la formulación intuitiva del análisis y luego una formalización parcial de ella. La formulación intuitiva es ésta:

(CP) Las *M* causan las *B ceteris paribus* sii para cada una de las realizaciones pertenecientes a una cantidad suficientemente grande ("*sufficiently many*") de realizaciones *D* de *M*, existe una condición *C* del mismo nivel, tal que $D \wedge C$ es causalmente suficiente, de un modo no superfluo, para el evento *B*.[31]

O también: las *M* causan las *B ceteris paribus* sii para toda instancia *D* de *M* que pertenece a una cantidad suficientemente grande de instancias de *M*, existe una condición *C* tal que $D \wedge C$ es causa de *B* pero ni *D* ni *C* aisladamente son causa de *B*.

Definimos el predicado auxiliar *Completa*(*x*, *y*) o "*x* un completa a *y*" o "*x* es un completador de *y*" así:

DEF. 1: $r_0 \in R$ es un *completador* de $b_0 \in B$ sii $\exists c[nn\ (r \in R \wedge c \in C \rightarrow b_0 \in B)]$

Una formalización parcial del análisis anterior usando *sólo* herramientas de la lógica clásica, basada en la propuesta por Mott,[32] es la siguiente:

[31] "*Ms cause Bs ceteris paribus iff for each of 'sufficiently many' realizations D of M there is a same-level condition* **C** *such that D* $\wedge$ **C** *is non-superfluously causally sufficient for a B event.*" (Silverberg, *"Psychological Laws and…"* cit., p. 203)

[32] La versión de Mott (Mott, *"Fodor and Ceteris…"* cit., p. 336) es "$cp(M \rightarrow B)$ sii $\forall R\ (R$ realiza a $M \rightarrow \exists C\ nn(R \wedge C \rightarrow B))$". Pero aquí 'M' se usa de dos mane-

(CP') $cp(m_0 \in M \rightarrow b_0 \in B)$ sii

$\forall r[(r \in R$ *realiza a* $m_0 \in M) \rightarrow \exists c(nn(r \in R \wedge c \in C \rightarrow b_0 \in B))]$,

y se interpreta así: "un estado intencional m_0 es *causa* de un estado físico b_0 *ceteris paribus* si y sólo si todo realizador tiene un completador", o también, "*cp* $(m_0 \in M \rightarrow b_0 \in B)$ sii para todo realizador r del estado intencional m_0 existe un estado físico c tal que r y c conjuntamente son causa del estado físico b_0". Nótese que (CP') tiene la forma propuesta por Pietroski y Rey: $cp[\forall x(Fx \rightarrow (\exists y)Gy)]$.

Nótese que en 1) la aparición de un realizador R sin un completador C no garantiza que se produzca el efecto B. Y, por supuesto, la sola presencia del completador tampoco basta pues no habría conexión causal ninguna, lo cual trivializa la ley CP. Resumiendo: la sentencia "si M entonces B, *ceteris paribus*" es verdadera cuando todo realizador de M tiene un completador. 2) (CP) En (CP) aparece una cuantificación "borrosa", más débil que $\forall$ en sentido clásico, la cual (CP') *no puede* captar: "para cada una de las realizaciones pertenecientes a una cantidad suficientemente grande ("*for each of 'sufficiently many' realizations...*").

Nuestra tesis es que la teoría de la demostración de la lógica por defecto permite captar (1) y (2) y su teoría de modelos (la noción de satisfacción *preferencial*) permite captar (3), como ya mostró Silverberg. A estos aspectos dedicamos la secciones siguientes.

ras a la vez: aparece en el antecedente como variable proposicional y también aparece en el consecuente como variable individual, y 'R' aparece de ambas maneras en el consecuente. Por eso preferimos usar nuestra versión "conjuntista" (que, por supuesto, equivale a la de Mott).

4. *Sintaxis de la lógica proposicional por defecto*

El lenguaje de la lógica por defecto está constituido por 1) las fórmulas del lenguaje del cálculo proposicional clásico y 2) las reglas por defecto (*defaults*).[33]

DEF. 2: Sea At un conjunto de átomos. El *lenguaje del cálculo proposicional clásico* L_{At} es el menor conjunto U de expresiones sobre el alfabeto $At \cup \{\neg, \wedge, \vee, \rightarrow, (\ ,\ )\}$ tal que

1) $At \subseteq U$;
2) $\varphi \in U \Rightarrow \neg\varphi \in U$;
3) $\varphi, \psi \in U \Rightarrow \varphi \square \psi \in U$, donde $\square = \{\wedge, \vee, \rightarrow\}$.

(La inclusión de un operador modal 'C' requiere la formulación de una regla adicional al estilo de "$\varphi \in U \Rightarrow \mathrm{C}\varphi \in U$" donde $\mathrm{C}\varphi$ se interpreta como "φ es explicada").[34]

DEF. 3: A los elementos de L_{At} los denominamos *fórmulas*. Una *teoría* es un conjunto de fórmulas de L_{At}.

DEF. 4: Una *regla por defecto* o *regla predefinida* (*default*; abreviadamente "RD") es un trío $<\alpha, J, \gamma>$ donde α y γ son fórmulas de L_{At} y J es un subconjunto finito de formulas de L_{At}. Se emplean las denominaciones siguientes:

α es llamada *prerrequisito*,

las fórmulas del conjunto J son llamadas *justificaciones* (*justifications*) o *condiciones a comprobar* (*test conditions*).
γ es llamada *consecuente*.

Si d es una RD, el prerrequisito de d se denota por $p(d)$, su conjunto de justificaciones por $J(d)$ y su consecuente por $c(d)$.

Si $J = \{\beta_1, ..., \beta_k\}$ una RD $<\alpha, J, \gamma>$ se escribe así

33 Seguimos la exposición de: Marek, y Truszczynski, *"Nonmonotonic Logic: Context-Dependent..."* cit., cap. 3. Usamos '$\rightarrow$' en el lenguaje-objeto y '$\Rightarrow$' en el metalenguaje.

34 Cf. Geffner, *"Default Reasoning: Causal…"* cit., secc. 5.2.

(1) $$\frac{\alpha : M\beta_1,\ldots,\beta_k}{\gamma}$$

Interpretación de (1): "Normalmente de α se deduce γ". En forma más genérica (1) codifica o expresa la *expectativa* de deducir γ a partir de α en tanto sea *consistente* asumir las justificaciones β_1, ..., β_k. Las β_i describen *excepciones*. En tanto ninguno de los $\neg\beta_i$, ..., $\neg\beta_k$ aparezca en la base de conocimiento (lo que posteriormente definiremos como *contexto*), la situación descrita por S es normal y la regla se aplica.

CASOS PARTICULARES:

Si $\alpha =$ *Verdadero*, (1) se denomina *libre de prerrequisito* y se escribe así:

$$\frac{: M\beta_1,\ldots,\beta_k}{\gamma}$$

Si $J = \emptyset$, (1) se denomina *libre de justificación* y se escribe así:

$$\frac{\alpha :}{\gamma}$$

Si J = $\{\gamma\}$, esto es, si la justificación y el consecuente coinciden, (1) se denomina *normal* y se escribe así:

$$\frac{\alpha(p):\gamma(p)}{\gamma(p)}$$

DEF. 5: Una *teoría por defecto* (abreviadamente "TD") es un par <*D*, *W*> donde *D* es un conjunto de RDs y *W* es una teoría en L_{At}.

Geffner ha propuesto una distinción entre *background* (o conocimiento genérico previo) y *evidencia*, que corresponde aproximadamente a la distinción entre reglas y hechos tal como aparece en Prolog[35] y en otros lenguajes de programación lógica, la cual utilizaremos en la próxima sección.

DEF. 6: Definimos una partición en W así: $W = L \cup E$ ($L \cap E = \emptyset$) donde L es un conjunto de *reglas* o *leyes estrictas* y E es un conjunto de *hechos* o *instancias de leyes estrictas* denominado *evidencia*. El *conocimiento genérico previo* (*background context*) K de una TD está formado por el conjunto de leyes estrictas y RDs de esa teoría por defecto, esto es, K = $<L, D>$.

Una vez definidas las reglas y las teorías por defecto, la pregunta siguiente que surge de manera natural es ¿cómo podemos calcular con ellas? ¿cómo podemos construir un cálculo deductivo en la lógica por defecto? La respuesta la proporcionan los métodos de teoría de la demostración en lógica por defecto introducidos por Marek y Truszczyński.

DEF. 7: Sea $<D, W>$ una TD. Un *cálculo deductivo por defecto* (*default proof system*) PC + D es el cálculo deductivo del cálculo proposicional extendido por D. Una *S-derivación* (*S-demostración*) de una fórmula φ a partir de W es una sucesión finita $\varphi_1, ..., \varphi_n$ tal que $\varphi_n = \varphi$ y para toda i ($1 \leq i \leq$ n) se cumple al menos una de las condiciones siguientes:

1) $\varphi_n \in$ W,
2) φ_i es una instancia de sustitución de un axioma del cálculo proposicional clásico.
3) φ_i es el resultado de aplicar *modus ponens* a dos fórmulas φ_j, φ_k para algún $j, k < i$.
4) Existe una RD $d = \dfrac{\alpha : M\beta_1, ..., M\beta_k}{\varphi_i}$ tal que $d \in D$, $\alpha = \varphi_j$ para alguna $j < i$, y $\neg\beta_i \notin S$, ..., $\neg\beta_k \notin S$. La teoría S es llamada *contexto*.

[35] Por ejemplo, parent(tom, bob) es un hecho mientras offspring (Y, X):- parent(X, Y) es una regla.

El cálculo deductivo por defecto PC + D proporciona al agente un método de razonamiento para producir distintos *conjuntos de creencias* sobre su entorno, el cual conoce de un modo incompleto. La noción de S-demostración presenta una novedad importante: los cálculos deductivos por defecto determinan toda una familia de operadores de consecuencia (sintáctica) parametrizada con respecto a un contexto S, mientras que los cálculos deductivos clásicos sólo tienen un solo operador de consecuencia asociado. Este conjunto de operadores de consecuencia refleja el hecho que las RDs permiten a un agente establecer conjeturas distintas cuando su conocimiento del entorno es incompleto. Más aún, RDs *en conflicto* pueden determinar conjuntos de creencia incompatibles.[36] Lo cual es el caso cuando formulamos una ley CP y sus factores inhibidores mediante dos RDs distintos (Aunque, por supuesto, el primer RD tiene *prioridad* sobre el segundo, idea que se formaliza estableciendo un orden parcial en el conjunto D de RDs).

Definimos ahora las propiedades de monotonía y antimonotonía para operadores:

DEF. 8: Sea X un conjunto y sea $P(X)$ el conjunto potencia de X. Definimos:

i) Un *operador* en X es cualquier función $P(X) \to P(X)$.
ii) Un *operador F es monótono* si para cualesquiera $X_1, X_2 \subseteq X$, si $X_1 \subseteq X_2$ entonces $F(X_1) \subseteq F(X_2)$.
iii) Un *operador F es antimonótono* si para cualesquiera X_1, $X_2 \subseteq X$, si $X_1 \subseteq X_2$ entonces $F(X_2) \subseteq F(X_1)$.

La noción de *punto fijo* (*fixpoint*) de un operador es clave en lógica por defecto y programación lógica. Más específicamente, la obtención de extensiones de teorías por defecto se basa en este concepto.

36 Véase el ejemplo expuesto en Reiter, *"A Logic for..."* cit., p. 86. Nótese que dos RDs en conflicto pueden generar dos ontologías distintas.

DEF. 9: Si F es un operador en X, entonces un conjunto $Y \subseteq X$ es llamado un *punto fijo* de F si $F(Y) = Y$.

A continuación definimos el conjunto de todas las RDs libres de justificación, que llamamos D_m, y dos operadores útiles: el primero, $Cn^{D,S}$, es simplemente el conjunto de todas las fórmulas que tienen una S-demostración a partir de W en PC + D, y el segundo, Cn^{D_m}, es el subconjunto del primero tomando $D = D_m$.

DEF. 10: $D_m = \left\{ \frac{\alpha}{\gamma} : \frac{\alpha :}{\gamma} \in D \right\}$, $Cn^{D,S}(W) = \{\varphi : \varphi$ tiene una S-demostración a partir de W en PC + D$\}$, $Cn^{D_m}(W) = \{\varphi : \varphi$ tiene una S-demostración a partir de W en PC + $D_m\}$.

Recordemos que distintos contextos S, S', S''... determinan distintos operadores de consecuencia $Cn^{D,S}(W)$, $Cn^{D,S'}(W)$, $Cn^{D,S''}(W)$, ...

TEOREMA 1 (Propiedades de los operadores $Cn^{D,S}$):

i) El conjunto de RDs libres de justificación coincide con el conjunto de reglas de inferencia clásicas, es decir, $Cn^{D_m} = Cn^{D,S}(W)$.
ii) El operador $Cn^{D,S}(W)$ es monótono en D y W pero es antimonótono en S.

(Demostración: véase Marek y Truszczyński, *op cit.*, pp. 52-3).

Como ya hemos dicho, el cálculo deductivo por defecto permite al agente construir distintos conjuntos de creencias. Para esto utiliza los operadores $Cn^{D,S}(W)$, $Cn^{D,S'}(W)$, ... asociados a contextos S, S', ... Pero no todos los operadores de esta familia (y no todos los contextos) son igualmente apropiados para computar los conjuntos de creencias en una TD. Un contexto S es apropiado para este fin si S es precisamente un conjunto de fórmulas que puede ser derivado a partir de W mediante un cálculo deductivo por defecto PC + D. Y esto nos lleva al concepto clave de *extensión* de una teoría por defecto:

DEF. 11: Sea <D, W> una TD. Decimos que una teoría S es una *extensión por defecto* (*default extension*) de <D, W> si $S = Cn^{D,S}(W)$.

Hay distintas maneras de caracterizar las extensiones. La siguiente es debida a Reiter.

TEOREMA 2 (Reiter): Sea <D, W> una TD. Para toda teoría $S \subseteq L$, existe una menor teoría $U \subseteq L$ tal que

1) $W \subseteq U$
2) $Cn(U) = U$[37]
3) Para toda RD $d \in D$, si $p(d) \in U$ y, para toda $\beta \in J(d)$, $\neg\beta \notin S$, entonces $c(d) \in U$.[38]

DEF. 12: Sea <D, W> una TD. El operador $\Gamma^{D,W}: P(L_{At}) \rightarrow P(L_{At})$ de Reiter se define así: $\Gamma^{D,W}(S) =_{Df}$ la menor teoría U que satisface (1), (2) y (3) del teorema anterior.

El operador $\Gamma^{D,W}$ asigna un conjunto de creencias a un contexto. Por otra parte, se ha demostrado que el operador $Cn^{D,S}(W)$, el cual asigna un conjunto de creencias a la evidencia en W coincide con $\Gamma^{D,W}$[39]. Esto permite demostrar el siguiente resultado fundamental:

TEOREMA 3 (Reiter): Sea <D, W> una TD. Entonces la teoría $S \subseteq L_{At}$ es una extensión de <D, W> sii S es un punto fijo del operador de Reiter $\Gamma^{D,W}$, es decir, $S = \Gamma^{D,W}(S)$.

COROLARIO: S es una extensión de una TD <D, W> si S es el menor punto fijo del operador $R^{D,S}$ que contiene a W.

TEOREMA 4 (extensiones de TDs normales): toda TD normal admite al menos una extensión. [40]

---

37 Es decir, U es cerrada bajo consecuencia sintáctica en el cálculo proposicional clásico.

38 Demostración, Cf. Marek, y Truszczynski, *"Nonmonotonic Logic: Context-Dependent..."* cit., pp. 62.

39 *Ibid.,* pp. 62-3.

40 Demostración, cf. *Ibid.,* pp. 106.

Finalizamos esta breve introducción a la lógica no monótona con el concepto de consecuencia preferencial (*preferential*) de Shoham, el cual complementa desde el punto de vista semántico los desarrollos anteriores.

5. *Las leyes CP desde el punto de vista de la teoría de modelos de la lógica no monótona: consecuencia preferencial, modelos preferidos y leyes CP*

El concepto de *estructura preferencial* (*preferential*) de Shoham establece un orden parcial simple y estricto en el conjunto de interpretaciones de un lenguaje formal,[41] lo cual permite establecer una relación de preferencia entre modelos. Esta relación permite definir la relación de consecuencia semántica en términos de los modelos *preferidos* o propuestos de la teoría. La idea de trabajar con un subconjunto propio del conjunto de los modelos ha resultado muy útil en diversos ámbitos. Por ejemplo, Nilsson, al presentar el programa de la IA basada en lógica, plantea los desarrollos en el subconjunto de modelos *propuestos* (*intended*).[42] El conjunto de *aplicaciones propuestas* (*intended applications*) de una teoría física señalados por E. Adams y Sneed es otro modo de referirse a los modelos preferidos de estas teorías.[43]

DEF. 13: Sea I_L el conjunto de todas las interpretación de L_{At}. Una *estructura preferencial* o *p-estructura* para L_{At} es un par ordenado $< I, < >$, donde 'I' denota un conjunto no vacío de interpretaciones $I \subseteq I_L$ y '<' denota una relación de orden irreflexiva y transitiva en I.

La relación de orden '<' nos permite usar la notación M<M' para expresar que un modelo M es *preferido a* otro modelo M', lo cual es un modo de establecer la preeminencia del primer modelo sobre el segundo. Por otra parte, si M es un modelo de una TD T tal que no hay otro preferible a él

41 Cf. Manzano, M., *Teoría de modelos*, Madrid, Alianza, 1989, sec. 2.

42 Véase Nilsson, N., "Logic and Artificial Intelligence", *Artificial Intelligence*, vol. 47, 1991, pp. 31-56.

43 Véase Balzer, W., Moulines, U. y Sneed, J., *An Architectonic for Science: The Structuralist Program*, Dordrecht, Reidel, 1987.

(digamos que es el modelo "óptimo" o "más preferible a todos los demás"), decimos que M es un modelo preferido (*preferred*) de T.

DEF. 14 Un modelo de una TD T es un *modelo preferido* de T en una p-estructura <I, < > sii M∈I y no hay ningún modelo M' de T en I tal que M' < M.

DEF. 15: Una p-estructura <I, < > está bien fundamentada (*well-founded*) relativamente a un background K = <L, D> si para toda TD T = < *W*, *D*> y todo modelo M de T, con M∈I, o M es un modelo preferido de T o existe un modelo preferido M' de T, con M'∈I, tal que M<M'.

DEF. 16: Una p-estructura <I, < > bien fundamentada es *admisible* relativamente a un background K = <L, D> sii toda interpretación I∈I satisface a L, y para toda RD normal de la forma

$$\frac{\alpha(p):\gamma(p)}{\gamma(p)}$$

y toda RD general de la forma

$$\frac{\alpha(p):M\neg\beta_1(p),\ldots,\neg\beta_n(p)}{\gamma(p)}$$

en D se cumple que

i) γ *(p)* es verdadero en todos los modelos preferidos de α*(p)* en I y

ii) existe una I∈I que satisface a α*(p)*.

DEF. 17: Una proposición *p* es *consecuencia* (semántica) *preferencial* de una TD T = <W, D> sii *p* es verdadera en todos los modelos preferidos de E que están en toda p-estructura admisible relativamente al background K.

La aplicación de estos conceptos a las leyes CP es la siguiente: sea un TD a la cual pertenece una cierta una ley CP de la forma *cp* $(A \to B)$. Decimos que *cp* $(A \to B)$ es verdadera si su consecuente *B* es consecuencia (semántica) preferencial de su antecedente *A* en esa TD.

DEF. 18: Una ley CP de la forma $cp\,(A \rightarrow B)$ es *verdadera* sii su consecuente B es consecuencia (semántica) preferencial de su antecedente A.

6. Aplicación (bosquejo) de la lógica proposicional por defecto al análisis de las leyes CP

Nuestro ejemplo (1) puede formularse mediante dos fórmulas con una variable libre, una de carácter general en la cual no se mencionan explícitamente los factores inhibidores sino que se apela a una cláusula CP (tal como se formula en (1)) y otra en la cual se mencionan explícitamente algunos factores inhibidores f_1 y f_2:

(*) Para cualquier sujeto *p* en condiciones normales, si *p* experimenta una fuerte sensación de peligro, entonces el nivel de adrenalina en *p* experimenta un repentino incremento.

(**) Para cualquier sujeto *p* que no padece f_1 ni f_2 ni f_3, si *p* experimenta una fuerte sensación de peligro, entonces el nivel de adrenalina en *p* experimenta un repentino incremento.

Si la frase “en condiciones normales” la entendemos como “es *consistente con la información disponible sobre p* esperar que el nivel de adrenalina en *p* experimente un repentino incremento”, y “*p* que no padece f_1 ni f_2 ni f_3” la interpretamos como “es *consistente con la información disponible sobre p* esperar que p no padezca f_1 ni f_2 ni f_3”, entonces podemos expresar a (*) y a (**) mediante dos RDs. Usando "*se_peligro* (*p*)" e "inc_adrenalina" como las abreviaturas de "*p* experimenta una fuerte sensación de peligro" y "el nivel de adrenalina en *p* experimenta un repentino incremento", (*) y (**) pueden reconstruirse como sendas *reglas por defecto abiertas* (con *p* como variable libre) con la forma siguiente:

$$(1_{CP,N}) \qquad \frac{se\_peligro(p) : Minc\_adrenalina(p)}{inc\_adrenalina(p)}$$

$$(1_{CP,G}) \qquad \frac{se\_peligro(p) : M\neg f_1(p), \neg f_2(p), \neg f_3(p)}{inc\_adrenalina(p)}$$

Mientras ($1_{CP,N}$) es una RD *normal*, que expresa la ley CP, ($1_{CP,G}$) y el análisis de Churchland son RDs generales de la forma

$$\frac{\alpha(p) : M\neg\beta_1(p), \neg\beta_2(p), \neg\beta_3(p)}{\gamma(p)}$$

Tomando como factores los mencionados anteriormente, ($1_{CP,G}$) se lee así: "si es *consistente con la información disponible sobre p* asumir que *p* no padece ninguna enfermedad ni ha sufrido ninguna lesión que le impida experimentar una fuerte sensación de peligro o producir "suficiente" cantidad de adrenalina o ambos, entonces si *p* experimenta una fuerte sensación de peligro, se deduce que el nivel de adrenalina en *p* experimenta un repentino incremento.[44]

¿Y los factores inhibidores? Nótese que tenemos *tres* tipos de factores inhibidores de una ley CP: los factores que inhiben al antecedente (como f_1: lesión cerebral), los que inhiben al consecuente (como f_2: lesión en la glándula suprarrenal) y los que inhiben a ambos (como el caso extremo f_3: *p* está en estado de coma). En las situaciones en las cuales actúan este último tipo de factores *ambos* términos del condicional resultan falsos.

Ahora bien, si abreviamos mediante el predicado "lesionado (*p*)" la condición de lesión o enfermedad aludida que afecta al antecedente o al consecuente o a ambos en (1b'), podemos establecer las *instancias de la ley CP* (los casos "positivos" de la ley) y las *instancias de sus factores inhibidores* (los casos "negativos" de la ley o "excepciones absolutas" en la terminología de Fodor) mediante *dos* reglas por defecto simples:

$$(1'_{CP,G}) \qquad \frac{se\_peligro(p) : M\neg lesionado(p)}{inc\_adrenalina(p)}$$

[44] Naturalmente, la frase "producción de 'suficiente' cantidad de adrenalina" puede precisarse estableciendo a partir de cierta cantidad que podemos considerar como umbral o parámetro, lo cual nos permite fijar el incremento de adrenalina y calificarlo en forma borrosa de "leve" o "fuerte".

y

$$(1'_{FI,G}) \qquad \frac{se\_peligro(p) : Mlesionado(p)}{\neg inc\_adrenalina(p)}$$

Este par de RDs *en conflicto* determinan las instancias de las situaciones en las cuales se verifica la ley CP y las instancias en las cuales se verifican sus factores inhibidores. Ahora bien, ¿qué implica esto? Sea T = <D, W> una TD consistente. Si en T incluimos tanto a ($1'_{CP,G}$) como a ($1'_{FI,G}$), T se vuelve inconsistente. De este modo tenemos que si ($1'_{CP,G}$) es aplicado, ($1'_{FI,G}$) queda bloqueado y viceversa. Así pues, obtenemos extensiones muy distintas de T incluyendo a una o a otra en D, pero esas extensiones no tienen la misma importancia pues ($1'_{CP,G}$) tiene prioridad sobre ($1'_{FI,G}$). La interpretación de las cláusulas $M\beta_i$ como "es *consistente con la información disponible sobre p* asumir que... β_i..." supone que la base de conocimiento biomédica posee suficiente información para establecer eso (digamos que la historia médica de *p* está almacenada con detalle). Por ejemplo, *p* puede estar lesionado de una pierna sin que eso sea un factor inhibidor de *A* ni de *B* ni de ambos.

Aplicando la interpretaciones de las RDs condicionales como expectativas propuestas por Geffner y la definición de S-derivación de Marek y Truszczyński, obtenemos lo siguiente:

inc_adrenalina (*p*) es verdadera en el contexto S al cual pertenece *se_peligro* (*p*), i.e., las RDs condicionales ($1_{CP,N}$), ($1_{CP,G}$) y ($1'_{CP,G}$) son verdaderas en una teoría por defecto si hay una S-derivación de '*inc_adrenalina* (*p*)' a partir de '*se_peligro* (*p*)' en el contexto S.

Las RDs ($1_{CP,N}$), ($1_{CP,G}$) y ($1'_{CP,G}$) que representan la ley CP, pueden interpretarse entonces como las expectativas exitosas *sobre el estado físico y psicológico de* p, *mientras que la RD ($1'_{FI,G}$), la cual representa el conjunto de factores inhibidores de esa ley, puede interpretarse como una codificación* *de las* expectativas fallidas o fracasadas *pues al intervenir los factores inhibidores no ocurre lo que esperamos.*

Como consecuencia de todo lo anterior podemos clasificar los modelos de la ley CP del siguiente modo:

Modelos preferidos o instancias de la ley CP (consecuencias de la RD (1a)): M_{CP}.

Modelos no preferidos = $M_{\neg A} \cup M_{\neg B} \cup M_{\neg A \wedge \neg B}$*, donde tenemos:*

Instancias de los factores inhibidores del antecedente *de la ley CP:* $M_{\neg A}$

Instancias de los factores inhibidores del consecuente *de la ley CP:* $M_{\neg B}$

Instancias de los factores inhibidores de ambos *miembros de la ley CP:* $M_{\neg A \wedge \neg B}$

Y tenemos que:

inc_adrenalina (*p*) y *se_peligro* (*p*) son ambos verdaderos en los modelos preferidos M_{CP}, $\neg$*se_peligro* (*p*) es verdadero en $M_{\neg A}$ $\neg$*inc_adrenalina* (*p*) es verdadero en $M_{\neg B}$ $\neg$*inc_adrenalina* (*p*) y $\neg$*se_peligro* (*p*) son ambos verdaderos en $M_{\neg A \wedge \neg B}$. Y se cumple que M_{CP} es preferido a todos los demás, es decir, $M_{CP} < M_{\neg A}$, $M_{CP} < M_{\neg B}$, y $M_{CP} < M_{\neg A \wedge \neg B}$.

Recapitulando, las dos RDs en conflicto ($1'_{CP,G}$) y ($1'_{FI,G}$) generan dos extensiones distintas de una misma teoría por defecto: una que corresponde a la aplicación de la ley CP y otra que corresponde a la aplicación de sus factores inhibidores. Pero una tiene prioridad respecto a la otra. A nuestros restantes ejemplos se les aplican consideraciones análogas, pero con una importante salvedad: para formalizar las leyes CP con componentes causales y/o intensionales se requieren operadores adicionales, lo cual implica ampliar la sintaxis y la definición de cálculo deductivo proporcionada en la sección 4.

Las observaciones anteriores puede generalizarse del siguiente modo:

TEOREMA 5 (Sintaxis de las leyes CP): *Toda ley CP puede expresarse mediante un conjunto* D_{CP} *de reglas por defecto tal que* $D_{CP} = D_{CP} \cup D_{FI}$*, donde* D_{CP} *denota el conjunto de las reglas por defecto que formalizan las instancias de la ley CP,* D_{FI} *denota el conjunto de las reglas por defecto que formalizan sus factores inhibidores y donde* D_{CP} *tiene prioridad sobre* D_{FI}*. Más aún, si la ley CP se representa mediante reglas por defecto normales,* D_{CP} *y* D_{FI} *son conjuntos unitarios de reglas por defecto.*

Como hipótesis de trabajo proponemos entender el rol de la cuantificación en las teorías por defecto con leyes CP del siguiente modo:

CONJETURA: Sea T una teoría por defecto. Una *teoría por defecto con leyes ceteris paribus* T_{CP} es la extensión de una teoría por defecto T obtenida añadiendo a T una RD basada en una sentencia de la forma $\forall x{\in}M_{CP}(cp\ (Fx \rightarrow Gx))$ con una cuantificación universal *restringida* (*bounded*) a todos las entidades *x* que pertenecen a los modelos preferenciales de *F* y *G*, a saber, M_{CP}. Los factores inhibidores de esa ley CP generan otra extensión T_{FI} de T añadiendo a T otra RD basada en una sentencia de la forma $\forall x{\in}M_{FI}(cp\ (Fx \rightarrow Gx))$ con una cuantificación universal *restringida* a todos las entidades *x* que pertenecen a los modelos no preferenciales de M y B, a saber, $M_{\neg A} \cup M_{\neg B} \cup M_{\neg A \wedge \neg B}$. Como $M_{CP} \cap M_{FI} = \varnothing$, entonces '$\forall x{\in}M_{CP} \cap M_{FI}(cp\ (Fx \rightarrow Gx))$' es vacía. En consecuencia, la fórmula '$\forall x(cp\ (Fx \rightarrow Gx))$' es ambigua pues puede entenderse como $\forall x{\in}M_{CP}(cp\ (Fx \rightarrow Gx))$ o $\forall x{\in}M_{FI}(cp\ (Fx \rightarrow Gx))$.

Un argumento de Peter Mott indica las consecuencias paradójicas que se derivan de un tratamiento clásico del tema de las leyes CP causales e intensionales.

7. Un argumento adicional a favor del análisis de las leyes CP causales e intensionales con lógica no monótona

Volvamos a (CP) y (CP'). Como ya hemos dicho, esos análisis se aplican a leyes que conectan estados intencionales con estados físicos como (1) y (5). La idea intuitiva es que si el estado intencional es implementado mediante el estado físico R, entonces existe un conjunto C de circunstancias físicas o conductuales tales que la conjunción de $R \wedge C$ es causalmente suficiente para que B se produzca. Consideremos de nuevo a (1). "La sensación de peligro (del agente)" corresponde al estado intencional m_O, y "un repentino incremento en la producción de adrenalina" corresponde al estado físico b_O. La ley establece que m_O produce, *salvo factores inhibidores*, a b_O, es decir que m_O es *causa* de b_O *ceteris paribus* o *cp* ($m_O \in M \rightarrow b_O \in B$). Según (CP'), todo realizador de m_O tiene un completador, es decir, que para toda instancia de la sensación de peligro en el agente, existe un estado físico c (por ejemplo, aspectos del funcionamiento de la glándula suprarrenal del agente requeridos para la producción de adrenalina) tal que r y c conjuntamente son causa del incremento en el nivel de adrenalina en el organismo del agente. Una aplicación análoga se hace para (5), especialmente si consideramos instancias simples como "si una persona siente sed (m_O), entonces va en busca de agua (b_O)" o "si el agente desea leer un libro (m_O) y para obtenerlo debe comprarlo (la acción b_O), entonces el agente realiza esa acción b_O."

Resumiendo lo anterior, las dos ideas claves de (CP') son éstas: 1) *una ley CP es una formulación incompleta de una ley causal* y 2) *existe un modo de completarla para obtener una ley causal estricta*.

Ahora bien, la diferencia entre (CP) y (CP') no sólo es que el segundo es más fuerte que el primero debido al uso de $\forall$ en sentido clásico, sino que (CP) es *contradictorio*, según ha mostrado Mott.[45] Comencemos por establecer tres obvios postulados. El primero dice algo que sabemos: si una ley es CP tiene excepciones, esto es, si $cp\ (m_O{\in}M \rightarrow b_O{\in}B)$ entonces existe un n intencional tal que $cp(m_O{\in}M \wedge n{\in}N)$ pero $\neg (b_O{\in}B)$. El segundo postulado establece que una ley CP condicional es falsa si el antecedente es verdadero y el consecuente es falso, esto es, si $\neg cp\ (m_O{\in}M \rightarrow b_O{\notin}B)$. El tercero dice que si R realiza la conjunción M $\wedge$ N también realiza a cada uno de sus miembros. En resumen, los tres postulados se formulan así:

(M1) Si $cp\ (m_O{\in}M \rightarrow b_O{\in}B)$ es una ley CP, entonces $\exists n\ cp\ (m_O{\in}M \wedge n{\in}N \rightarrow b_O{\notin}B)$

(M2) Si $cp\ (m_O{\in}M \rightarrow b_O{\in}B)$, entonces $\neg cp\ (m_O{\in}M \rightarrow b_O{\notin}B)$

(M3) $r_O{\in}$R realiza $m_O{\in}M \wedge n_O{\in}N \Rightarrow r_O{\in}$R realiza $n_O{\in}$N

El argumento de Mott es el siguiente: supongamos que disponemos de una ley CP, y que la instancia $cp\ (m_O{\in}M \rightarrow b_O{\in}B)$ es verdadera. Entonces,

(1$_M$) $cp(m_O{\in}M \rightarrow b_O{\in}B)$ Hip.

(2$_M$) $cp(m_O{\in}M \wedge n_O{\in}N \rightarrow b_O{\notin}B)$ Por (M1)

(3$_M$) $\neg cp(m_O{\in}M \wedge n_O{\in}N \rightarrow b_O{\in}B)$ Por (M2)

(4$_M$) Sea $r_O{\in}R$ una realización arbitraria de $m_O{\in}M \wedge n_O{\in}N$[46]

(5$_M$) $r_O{\in}R$ es una realización de $m_O{\in}M$ Por 4$_M$ y (M3)

(6$_M$) $\exists c\ nn(r_O{\in}R \wedge c{\in}C \rightarrow b_O{\in}B)$ Por Eli-$\forall$ en (CP')[47], (5$_M$) y MP

(7$_M$) $\forall r[r{\in}R$ realiza $m_O{\in}M \wedge n_O{\in}N \rightarrow \exists c\ nn(r{\in}R \wedge c{\in}C \rightarrow b_O{\in}B)]$ Por 4 y (CP')

45 Cf. Mott, *"Fodor and Ceteris…"* cit., pp. 338-339. Usamos nuestra versión formulada en (CP') y no la formulada originalmente por Mott debido al problema mencionado en la nota 32.

46 Este paso supone una función de elección apropiada.

47 Es decir, eliminación de $\forall$ en (CP').

(8_M) $cp(m_0 \in M \wedge n_0 \in N \rightarrow b_0 \in B)$ (contradicción con (3_M))
Por (CP')

Luego, *si la regla de eliminación del cuantificador universal* $\forall$ *funciona exactamente como en la lógica clásica (monótona) del modo habitual*, esto es, $\forall x Fx \vdash Fa$ (en *cualquier* modelo), el análisis propuesto en (CP) es contradictorio. Si cuando usamos *teorías por defecto con leyes CP* estamos considerando sólo los *modelos preferidos*, entonces la cuantificación no puede abarcar todo el universo del discurso, sino que debe ser un tipo de *cuantificación universal restringida (bounded) a los modelos preferidos* de esa teoría por defecto *con leyes* CP. De este modo se bloquea la obtención de la contradicción.

8. Observación final

Probablemente la ambigüedad de $\forall x(cp\,(Fx \rightarrow Gx))$ pudo motivar la concepción escéptica de las leyes CP que aparecen en los referidos artículos de Schiffer y Mott. En contraste, la reconstrucción lógica de las leyes CP como reglas por defecto abiertas proporciona una base clara y rigurosa a una teoría de las generalizaciones del sentido común, de varias ciencias como la psicología y la biología y de las reglas IF-THEN que aparecen en los sistemas expertos. También puede mostrarse (lo trataremos con detalle en un próximo trabajo) que la llamada "ley de inercia del sentido común" de McCarthy en IA es una ley CP, lo cual aclara el debate suscitado sobre ella. En este sentido, el tema de las leyes CP presenta aplicaciones tanto a la filosofía de la ciencia como a la IA.

Instituto de Filosofía
Universidad Central de Venezuela