Revista Iberoamericana de Argumentación
ἐπει δὲ ταύτην ἐπιστήμην ζητοῦμεν

Segunda Época
RIA 26 (2023): 1-20

Directores: Luis Vega† y Hubert Marraud. **Editora:** Paula Olmos
ISSN 2172-8801 / doi 10.15366/ria2023.26.001 / https://revistas.uam.es/ria

La herencia de propiedades como mecanismo inferencial en el contexto del razonamiento no-monótono

Inheritance of Properties as an Inferential Mechanism in the Context of Non-monotonic Reasoning

Jorge Andrés Morales Delgado
Universidad de Costa Rica (UCR)
jorge.moralesdelgado@ucr.ac.cr

Artículo recibido: 15-07-2022
Artículo aceptado: 29-01-2023

RESUMEN
El presente trabajo analiza la herencia de propiedades en el contexto de las redes semánticas como formalismo representacional del razonamiento no-monótono. En particular, se discuten las diferentes variaciones de la noción de herencia: (a) herencia simple con enlaces positivos, (b) herencia simple con enlaces positivos y negativos y (c) herencia múltiple con enlaces positivos y negativos. Asimismo, se aborda la herencia de propiedades desde una perspectiva epistemológica, y se evalúan las estrategias para utilizar este mecanismo como una forma de deducción en las redes semánticas no-monotónicas. Finalmente, se propone la tesis según la cual la dilucidación de los fundamentos de la noción de herencia de propiedades es clave para abordar problemas más complejos dentro del razonamiento no-monotóno.

PALABRAS CLAVE: deducción, herencia de propiedades, lógica, lógica no-monotóna, razonamiento, redes semánticas, representación de conocimiento.

ABSTRACT
Our work analyses the inheritance of properties in the context of semantic networks as a representational framework for non-monotonic reasoning. In particular, we discuss the various nuances of the notion of inheritance: (a) simple inheritance with positive links, (b) simple inheritance with positive and negative links and, (c) multiple inheritance with positive and negative links. Likewise, inheritance of properties is approached from an epistemological perspective, and we assess the strategies of employing this mechanism as a form of deduction in non-monotonic semantic networks. Finally, we propose the thesis that the elucidation of the foundations of the notion of inheritance of properties is crucial for the understanding of more complex problems within non-monotonic reasoning.

KEYWORDS: deduction, inheritance of properties, knowledge representation, logic, non-monotonic logic, reasoning, semantic networks.

Servicio de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Madrid

Copyright©JORGE_ANDRÉS_MORALES_DELGADO
Se permite el uso, copia y distribución de este artículo si se hace de manera literal y completa (incluidas las referencias a la Revista Iberoamericana de Argumentación), sin fines comerciales y se respeta al autor adjuntando esta nota. El texto completo de esta licencia está disponible en:
http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/es/legalcode.es

1. INTRODUCCIÓN

El razonamiento no-monótono es el campo de estudio que investiga la naturaleza falible de una importante clase de inferencias características de la cognición humana (McDermott & Doyle, 1980). En esta área de investigación, existen múltiples aproximaciones a las inferencias retractables; dependiendo del contexto, estaremos interesados en procesar la información de acuerdo con las circunstancias. Por ejemplo, podríamos necesitar hacer inferencias a partir de una base de datos sobre los diferentes vuelos de un aeropuerto, en cuyo caso hemos de suponer que contamos con completitud de la información (Reiter, 1980). En otro contexto, podríamos querer sacar conclusiones sobre los atributos de una persona que recién conocemos, en cuyo caso contamos con información escasa e incierta (Truszczyński, 2006). El rasgo común de estos ejemplos consiste en la naturaleza retractable de las conclusiones a las que llegamos. Uno de los propósitos de las lógicas no-monótonas consiste en la extracción de información a partir de determinados conjuntos de conocimiento, aun cuando este proceso de inferencia pueda ser corregido ulteriormente (Strasser & Antonelli, 2019).

En este trabajo analizamos uno de los mecanismos elementales para la extracción de información en el marco de las redes semánticas conocido como herencia de propiedades. La herencia consiste en un mecanismo de atribución de propiedades, a partir de la configuración estructural de una red semántica, siguiendo un conjunto determinado de reglas (Brachman, 1983). En términos generales, los aspectos técnicos de la herencia de propiedades son relativamente sencillos; sin embargo, en el contexto del razonamiento no-monótono, este mecanismo no ha sido objeto de una adecuada reflexión filosófica.

En esta investigación asumimos la tarea de analizar los límites y alcances del concepto de herencia de propiedades como mecanismo fundamental para extraer información en el contexto de redes semánticas no-monótonas. En particular, nos enfocamos en llevar a cabo dicho análisis atendiendo consideraciones filosóficas y epistemológicas que suelen estar ausentes en la literatura especializada. La importancia de este trabajo radica en la ausencia de un adecuado análisis de los fundamentos epistemológicos de la herencia de propiedades dentro de las lógicas no-monótonas. De este modo, nuestra investigación esboza algunas consideraciones que son condición de posibilidad para el abordaje de problemas más complejos en el campo del razonamiento no-monótono, los cuales se construyen sobre la base de la herencia de propiedades.

http://doi.org/10.15366/ria2023.26.001

Para atender el problema anteriormente descrito vamos a desarrollar nuestro trabajo a lo largo de cuatro secciones. En primer lugar, analizaremos el mecanismo de herencia simple. Esto nos permitirá entender la herencia de propiedades en el caso más sencillo, así como el funcionamiento de las redes semánticas. En segundo lugar, discutiremos el mecanismo de herencia simple cuando se incluyen enlaces positivos y negativos. Seguidamente, daremos cuenta de la versión general de la herencia de propiedades, la cual contempla la dinámica de herencia múltiple con enlaces positivos y negativos. Finalmente, integramos los diferentes aspectos de las secciones anteriores en un análisis general de la herencia de propiedades en el contexto del razonamiento no-monótono.

2. ANTECEDENTES

En el contexto de la lógica clásica, dado un conjunto de enunciados Δ tal que $\Delta \vdash \phi$, el principio de monotonía nos garantiza que, la unión $\Delta \cup \Delta'$, para todo conjunto de enunciados Δ', preserva la inferencia de cualquier ϕ; es decir $\Delta \cup \Delta' \vdash \phi$. Esta dinámica es una forma adecuada de modelar ciertos dominios de conocimiento. Por ejemplo, en el razonamiento matemático partimos de un conjunto de axiomas del cual inferimos otros enunciados, los cuales amplían nuestra base de conocimiento, y nos permiten a su vez, inferir más información. De acuerdo con el principio de monotonía, siempre podremos incrementar linealmente el acervo de enunciados en apego a un canon de demostración previamente acordado (Brewka, Niemelä, & Truszczyński, 2008).

No obstante, la dinámica anteriormente descrita resulta insatisfactoria cuando se aplica a dominios distintos del razonamiento matemático (Kraus, Lehman & Magidor, 1990). Es decir, un considerable fragmento de nuestras inferencias no opera bajo el principio de monotonía (Anderson, Gomaa, Grant & Perlis, 2013). En particular, el cuerpo de creencias que ostenta un individuo cualquiera es limitado, y las conclusiones que realice sobre la base de sus creencias siempre están sujetas a ser corregidas o rechazadas conforme se adquiera nueva información (Gabbay & Woods, 2008).

El razonamiento no-monótono estudia aquellas formas falibles de inferencia en las cuales nuestras conclusiones pueden ser revisadas, corregidas o retractadas sobre la base de nueva información. En términos más precisos, dado un conjunto de enunciados Δ tal que $\Delta \vdash \phi$ y un conjunto de enunciados Δ', podemos tener que $\Delta \cup \Delta' \nvdash \phi$. Así, las lógicas no-monótonas son una familia de formalismos que tienen por objetivo modelar los mecanismos y las dinámicas asociadas con las inferencias que no

observan el principio de monotonía. Estas lógicas tienen un amplio rango de aplicaciones en diversas áreas como ciencias cognoscitivas y computación, entre otras (Gabbay & Woods, 2008).

Uno de los diversos formalismos que nos permiten estudiar las propiedades de esta concepción particular de consecuencia lógica y entender mejor los procesos de inferencia falibles, se conoce como redes semánticas. La idea original de una red semántica suele rastrearse al trabajo de Ross Quillian (1967), quien propuso el concepto de una estructura compuesta por nodos y enlaces que permitiesen expresar información semántica a partir de la configuración particular de la red. El objetivo central de Quillian consistía en construir un modelo formal, que pudiera ser implementado computacionalmente, para estudiar ciertos procesos de la cognición humana (Brachman, 1977).

El trabajo de Quillian sobre la memoria y su rol en la cognición humana fue tomado por la lógica contemporánea para el estudio de las inferencias no-monótonas y el procesamiento de información retractable de los seres humanos (Touretzky, 1986). Uno de los objetivos centrales de las redes semánticas como estructuras representacionales, en el contexto del razonamiento no-monótono, consiste en modelar dominios de conocimiento y sus procesos deductivos.

Ahora bien, es importante mencionar que existe una plétora de especificaciones para las redes semánticas. Por ejemplo, entre las diversas variaciones se encuentran las redes cíclicas, acíclicas, estrictas, retractables y mixtas (Horty & Thomason, 1988). No obstante, en este trabajo vamos a utilizar una de las implementaciones más convencionales de las redes semánticas para el análisis de la herencia de propiedades en contextos no-monótonos. En particular, seguimos la línea inaugurada por Touretzky (1986), la cual continúan Carpenter y Thomason (1990) y se puede rastrear hasta la actualidad en Gabbay & Schlechta (2016) y Strasser & Antonelli (2019). Abstracción hecha de esta decisión metodológica, las distinciones previamente descritas no restan generalidad a nuestro análisis.

3. HERENCIA SIMPLE CON ENLACES POSITIVOS

En el marco de las redes semánticas, el primer tipo de estructura que analizamos son las redes de herencia simple con nodos positivos (→). En estas estructuras, los nodos representan individuos y propiedades. La capacidad expresiva de este tipo de redes se basa en la configuración especifica de los nodos y los enlaces entre estos.

Figura 1. Red de Herencia Simple con Enlaces Positivos

Para atender la herencia simple con nodos positivos, tomemos la red semántica Γ. Tal y como se ilustra en la Figura 1, en esta muy simple estructura podemos identificar dos componentes esenciales: los nodos y los enlaces. Estos componentes son los elementos básicos sobre los cuales toda una familia de formalismos lógicos con diversos grados de complejidad emerge.

Con respecto a los nodos, la estructura Γ contiene los nodos {p, q, r, s}. Estos nodos tienen la función de representar individuos u objetos, así como propiedades o clases. Por ejemplo, siguiendo a (Gabbay & Shclechta, 2016), el nodo p podría representar al individuo Nixon mientras que el nodo q podría representar la propiedad Conservador. Ahora bien, tal y como se reconoce desde Woods (1975) este es un tópico de amplio debate, pero al igual que (Bastiaanse & Veltman, 2016) obviamos abordar esta discusión la cual no resta generalidad a la tesis que posteriormente proponemos.

Con respecto a los enlaces, la red de herencia Γ contiene los enlaces {p → q, q → r, r → s}. Estos enlaces tienen la función de representar asociaciones entre objetos y propiedades según el dominio de conocimiento en el que se empleen. Estos enlaces se leen ‘es_un’. Por ejemplo, en nuestro caso podemos establecer que ‘p es_un q’, dada la información que nos provee Γ. Al igual con lo que ocurre con los nodos, esta es la forma más simple y elemental de representar relaciones en este tipo de estructuras de herencia. Tal y como lo discuten Horty & Thomason (1988) y Gabbay & Shclechta (2016), existen toda una plétora de matices que se puede adicionar a este tipo de relaciones. No obstante, en el presente trabajo vamos a seguir la convención usual en el contexto de este tipo de estructuras de herencia para el estudio del razonamiento no-monótono, tal y como se emplea en Carpenter, & Thomason (1990)

Ahora bien, dado que el foco central del presente trabajo es el análisis filosófico del mecanismo de la herencia de propiedades en el contexto del razonamiento no-monótono, vamos a hacer abstracción de las múltiples complejidades anteriormente señaladas, y abordaremos esta familia de estructuras de herencia tal y como se suele hacer en la literatura especializada en las lógicas no-monótonas, siguiendo a Touretzky (1986), Carpenter y Thomason (1990) y Strasser & Antonelli (2019) entre otros

Sobre la base de los nodos y enlaces, podemos construir lo que se conoce como rutas. Las rutas son cadenas de nodos que se conjugan a través de una serie de enlaces entre estos. De forma más precisa, la estructura de herencia Γ nos permite construir las siguientes rutas:

$\sigma 1$: $p \rightarrow q$

$\sigma 2$: $p \rightarrow q \rightarrow r$

$\sigma 3$: $p \rightarrow q \rightarrow r \rightarrow s$

En línea con lo anterior, es importante notar que hemos decidido adoptar la convención que se sigue cuando se emplean estas estructuras de herencia como formalismos de las lógicas no-monótonas. En particular, adoptamos la convención que se emplea desde (Horty & Thomason, 1988) hasta Gabbay & Shclechta (2016) la cual consiste en tomar un nodo global como el nodo inicial simpliciter, abstracción hecha de que existen subconjuntos en los cuales hay otros nodos iniciales. Esta segunda aproximación empleada por Stein (1992), la cual contempla subgrafos es mucho menos convencional tal y cómo lo señalan Simonet & Ducournau (1994)

Ahora bien, la simple asociación de nodos a través de enlaces positivos ofrece muy poca capacidad expresiva, y nos es, por sí misma, conducente a la representación de relaciones complejas. No obstante, las rutas son la base sobre la cual emerge el concepto de herencia de propiedades. En este sentido, las rutas son fundamentales con respecto a la capacidad representacional de las redes semánticas.

En línea con lo anterior, es imperioso identificar algunos componentes esenciales, concernientes a las rutas: (a) nodos iniciales, (b) nodos terminales y, (c) nodos intermedios. En primer lugar, dada la estructura Γ, tenemos que, con respecto a las rutas $\sigma 1$, $\sigma 2$ y $\sigma 3$ p es el nodo inicial (dado que no estamos considerando subgrafos). En segundo lugar, tenemos que, con respecto a p, s es el nodo terminal. Finalmente, tenemos los nodos intermedios. En el caso de la ruta $\sigma 2$: $p \rightarrow q \rightarrow r$ decimos que q es el nodo intermedio en tanto se encuentra entre un nodo inicial y un nodo terminal. Ahora

bien, estas tipificaciones son relativas a la ruta que se esté considerando (Stein, 1992). Por ejemplo, si tomamos como referencia la ruta σ1: p → q tenemos que q es un nodo terminal. No obstante, q es un nodo intermedio si la ruta de referencia es σ3: p → q → r → s. Este tipo de distinciones son parte de las variaciones que contempla esta familia de formalismos lógicos (Simonet & Ducournau, 1994), empero vamos a seguir la convención de tomar la estructura en su totalidad para determinar los nodos iniciales y terminales en lugar de considerar fragmentos de dichas estructuras.

Lo anterior son los rudimentos de la forma más básica en la que se pueden emplear las redes semánticas como mecanismos representacionales, denominada herencia simple de propiedades. Por ejemplo, y siguiendo con la estructura de herencia Γ, tenemos que existe una ruta que enlaza al nodo p con la propiedad s, a saber, la ruta σ3. En este contexto, decimos que el nodo p hereda el atributo s. Asimismo, tenemos que p hereda el atributo r, gracias a la ruta σ2 que enlaza ambos nodos a través del nodo intermedio q. De este modo, podemos atribuir propiedades al nodo p en virtud de la configuración de la estructura de herencia a la cual pertenece dicho nodo. Nuevamente, este punto en particular es harto complejo y la atribución varía ampliamente según las distinciones que se hagan sobre los nodos, empero nos apegamos a la lectura usual que se hace en el contexto de las lógicas no-monótonas siguiendo a Horty (1994), Gabbay & Shclechta (2016) y Strasser & Antonelli (2019) entre otros.

La herencia simple ocurre cuando hay una ruta que conecta un nodo inicial a un nodo terminal a través de una serie de nodos intermedios. La característica principal de este tipo de herencia es que cualquier nodo (inicial o intermedio) está asociado directamente a un único nodo y no más de un nodo. Ahora bien, se puede argumentar que implícitamente está asociado a más de uno, pero una asociación implícita es distinta a una asociación directa en el contexto de estas definiciones preliminares, aun cuando esto será retomado posteriormente puesto que conlleva situaciones complejas. De este modo, este tipo de estructuras nos ofrecen un patrón lineal que empieza con el nodo inicial, y a través de una cadena de nodos intermedios llega a un nodo terminal, de tal forma que al nodo inicial se le pueden atribuir las propiedades denotadas por los nodos intermedios y, en última instancia, la propiedad denotada por el nodo terminal.

Finalmente, es importante notar que es en los enlaces donde reside el carácter no-monótono de estos formalismos. En particular, decimos que, si el nodo p está enlazado con el nodo q, el enlace es falible o retractable. Es decir, en el contexto de la red Γ, cuando decimos que el nodo p hereda la propiedad s, hemos de tomar en

consideración que esto es una adscripción retractable en contraposición a una forma estricta de herencia. Ahora bien, esta familia de formalismos lógicos admite tanto una lectura no-monótona como la que señalamos previamente, así como una especificación estrictamente monotónica Carpenter & Thomason (1990), e incluso una aproximación mixta (Horty & Thomason, 1988), en la que se contemplan asociaciones retractables, así como asociaciones no-retractables o rígidas. No obstante, la convención que se sigue en el contexto de las estructuras de herencia como formalismos no-monótonos es asumir que todos los enlaces dentro de este tipo de estructuras son retractables, tal y como se discute en Strasser & Antonelli (2019).

En línea con lo anterior, tenemos que, si extendemos la estructura de herencia Γ con información adicional a través de otros nodos y enlaces, existe la posibilidad que dicha expansión menoscabe las atribuciones previas. De este modo, la forma estándar de interpretar los enlaces en estas estructuras, para contextos no-monótonos, consiste en asumir que dichos enlaces no se comprometen con una asociación estricta o definitiva, sino más bien con una asociación de regularidad o plausibilidad (Horty, Thomason, Touretzky, 1990). Así, todos los enlaces son enlaces retractables, a menos de que se especifique lo contrario.

4. HERENCIA SIMPLE CON ENLACES NEGATIVOS

La herencia simple de propiedades que contempla únicamente enlaces positivos tiene una limitada capacidad expresiva. No obstante, para incrementar el poder representacional de estas estructuras se incorporan enlaces negativos (↛).

Figura 2. Red de Herencia Simple con Enlaces Negativos

Para analizar la noción de herencia de propiedades simples con enlaces negativos tomemos la estructura Γ ilustrada en la figura 2. Esta estructura contiene los nodos {w, x, y, z} y los enlaces {w ⟶ x, x ⟶ y, y ↛ z}. Los nodos y los enlaces siguen cumpliendo las mismas funciones anteriormente especificadas.

En virtud de la estructura Γ tenemos las siguientes rutas:

σ1: w ⟶ x

σ2: w ⟶ x ⟶ y

σ3: w ⟶ x ⟶ y ↛ z

Nuevamente, al igual que con las estructuras de herencia simple que solo contemplan nodos positivos, seguimos la convención de las redes de herencia como formalismos para las lógicas no-monótonas siguen una lectura global en oposición a contemplar subgrafos (Simonet & Ducournau, 1994), en cuyo caso, dada la red Γ se asume al nodo p como un nodo inicial global.

Esta red semántica, a diferencia de la estructura de herencia simple con nodos positivos que discutimos en la sección anterior, contempla una ruta con una asociación negativa, a través del enlace y ↛ z. La función de este enlace consiste en denotar la relación negativa entre dos nodos. El enlace y ↛ z ha de leerse 'y es un no-z'.

La inclusión de enlaces negativos altera la forma en la que caracterizamos las rutas. Uno de los rasgos operacionales de los enlaces negativos es que estos interfieren con la continuidad de las rutas. Por ejemplo, si agregaremos un nodo t a la red Γ y lo asociamos positivamente con el nodo z, tal que z ⟶ t, no sería posible construir la ruta

σ4: w ⟶ x ⟶ y ↛ z ⟶ t

Esta ruta tentativa σ4 es ilícita puesto que el enlace negativo que asocia los nodos y y s interceptaría el camino hacia el nodo t. Así, los enlaces negativos pueden ser parte de una ruta, pero únicamente en relación con nodos terminales.

La caracterización de los nodos iniciales no cambia con la introducción de los enlaces negativos. De este modo, w sigue siendo el nodo inicial con respecto al nodo x, así como con respecto a los nodos y y z, en virtud de las rutas σ1, σ2 y σ3 respectivamente. Asimismo, en relación con los nodos terminales, tenemos que, x es el nodo terminal con respecto a la ruta σ1 y tanto y como z son los nodos terminales con respecto a las rutas σ2 y σ3.

Las rutas que incluyen enlaces negativos tienen la misma función que aquellas

que contienen enlaces positivos. Por ejemplo, la estructura Γ nos provee una ruta que asocia negativamente a w con el atributo z, a saber, la ruta σ3. Así, decimos que w hereda el atributo de ser un no-z. Nuevamente, es importante notar que Γ ofrece razones para atribuir la propiedad y al nodo w, a saber, a través de la ruta σ2; así como para atribuir la propiedad x al nodo w, a saber, a través de la ruta σ1. De este modo, la adición de enlaces negativos amplía significativamente la capacidad expresiva de estas estructuras representacionales.

Es crucial señalar que la noción de negación, en el contexto de las redes semánticas no-monótonas tiene una interpretación específica. La interpretación de este tipo de negación es diferente de lo que se conoce como negación como falla en lógica computacional, la cual es una forma de negación que ocurre en ausencia de información que sugiera lo contrario. En las redes semánticas se opera con lo que se conoce como negación fuerte (Gabbay & Shclechta, 2016). Es decir, un enlace negativo denota explícitamente la asociación negativa entre dos nodos cualesquiera, y no simplemente la falla en heredar el atributo. Este es un rasgo fundamental en este tipo de formalismos no-monótonos.

5. HERENCIA MÚLTIPLE

La herencia simple con enlaces positivos y negativos es la base de las redes semánticas como estructuras representacionales. No obstante, aun con la incorporación de enlaces negativos, la capacidad expresiva de estas redes sigue siendo limitada. En vista de esto, vamos a considerar las estructuras de herencia múltiple como una clase más amplia de redes semánticas. Este tipo de estructuras ofrece una mayor capacidad expresiva.

Las estructuras de herencia múltiple contemplan aquellas circunstancias en las que un nodo puede tener un vínculo (positivo o negativo) con varios nodos al mismo tiempo. En este tipo de escenarios existe una conexión entre el nodo inicial y el nodo terminal, pero a diferencia de las redes de herencia simple, cualquier nodo puede estar enlazado con varios nodos, sea este un enlace positivo o negativo. Es decir, la limitación impuesta en las redes de herencia simple se elimina para dar pie a configuraciones más complejas.

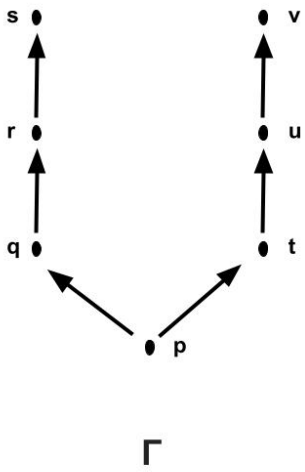

Figura 3. Red de Herencia Múltiple

Para discutir la herencia múltiple, tomemos la red semántica Γ ilustrada en la figura 3. Esta estructura de herencia contiene los nodos {p, q, r, s, t, u, v} y los enlaces {p → q, q → r, r → s, p → t, t → u, u → v}. Todos los componentes cumplen las mismas funciones detalladas para las estructuras anteriores.

Dada esta estructura de herencia, podemos construir las siguientes rutas:

σ1: p → q

σ2: p → q → r

σ3: p → q → r → s

σ4: p → t

σ5: p → t → u

σ6: p → t → u → v

En estas estructuras, a diferencia de las redes de herencia simples, cualquier nodo puede estar asociado a más de un nodo. Por ejemplo, el nodo inicial p está asociado a más de un nodo dentro de la red de herencia. Por un lado, p está asociado al nodo q. Este enlace nos facilita construir las rutas σ1, σ2, σ3. Por otro lado, p está asociado al nodo t. En virtud de este enlace tenemos las rutas σ4, σ5, σ6. El rasgo esencial de este tipo de redes es que permite que las relaciones entre nodos se bifurquen.

Las redes de herencia simple difieren de las estructuras de herencia múltiple en tanto las primeras permiten que un nodo cualquiera pueda estar vinculado a lo sumo con otro nodo de la misma red, mientras que las ultimas omiten esta restricción. Así, en las redes de herencia múltiple las asociaciones entre nodos pueden ramificarse. La razón para extender la complejidad de estas estructuras consiste en incrementar la

capacidad expresiva de las redes semánticas. Sobre este aspecto Carpenter y Thomason explican:

> Both the definition of inheritance given here […] are cases of multiple inheritance. What this means is that there may be links from one node to more than one other node. For instance, we might want to say that whales are mammals and that whales are ocean dwellers. Note that nothing in the definitions prohibits such uses of multiple classification. One use of such multiple inheritance is to simultaneously classify objects along a number of different dimensions. For instance, consider the simple classification of animals in terms of their biological class and habitat […]. (1990, 319)

Así, esta clase de redes de herencia facilitan la representación de casos en los que los nodos deben compartir atributos o propiedades. Tal y como los autores anteriormente mencionados establecen, en determinadas circunstancias, un concepto está asociado no solo con una, sino con varias propiedades al mismo tiempo. De este modo, tanto el concepto como sus múltiples relaciones deben ser capturadas formalmente dentro de estos mecanismos de representación del conocimiento. Este fin se materializa en las redes semánticas de herencia múltiple.

6. ESTRUCTURAS COMPLEJAS

Hasta ahora, las redes de herencia que hemos discutido son harto sencillas; esto con el fin de presentar con claridad los diversos mecanismos asociados a estas estructuras representacionales. No obstante, podría cuestionarse la utilidad de estas estructuras en el contexto no-monótono, para bases de conocimiento más complejas. Para atender este punto, vamos a discutir un breve caso en el que, con los insumos básicos que tenemos, podemos introducir un grado de complejidad ligeramente mayor a lo que hemos discutido hasta el momento.

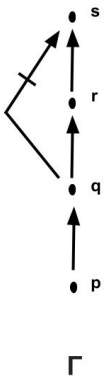

Figura 4. Red de Herencia Múltiple Compleja

Tomemos la red de herencia Γ ilustrada en la figura 4. Esta estructura contiene los nodos {p, q, r, s} y los enlaces {p → q, q → r, q ↛ s, r → s}.

Dada esta red semántica, podemos construir las siguientes rutas:

σ1: p → q

σ2: p → q → r

σ3: p → q ↛ s

σ4: p → q → r → s

Esta red instancia una estructura de herencia múltiple con enlaces positivos y negativos. En este caso, tenemos que el nodo q está asociado a más de un nodo. Por un lado, q está asociado al nodo s, a través de un enlace negativo. Este primer enlace nos facilita construir las rutas σ1 y σ3. Por otro lado, q está asociado al nodo r, a través de un enlace positivo; el cual nos permite construir las rutas σ1, σ2, σ4.

Ahora bien, en esta red semántica, la adscripción de atributos es menos diáfana. En primer lugar, tenemos que, a través de los nodos q y r, el nodo p hereda la propiedad s. En virtud de la ruta σ4 podríamos inferir que p tiene el atributo s. No obstante, esta misma estructura de herencia nos dice que el mismo nodo p hereda la propiedad de ser un no-s. Sobre la base de la ruta σ3 tenemos razones para inferir que p tiene el atributo de ser un no-s. En este contexto, la pregunta central es si el nodo p hereda la propiedad s o la propiedad de ser un no-s, pues dicha estructura provee razones para ambas.

Un ejemplo ilustrativo de lo anterior ocurre cuando consideramos una estructura de herencia Γ con los nodos {Fido, Pingüino, Ave, Vuela} and y los enlaces { Fido → Pingüino, Pingüino → Ave, Fido → Ave, Ave → Vuela, Pingüino ↛ Vuela }. En este contexto tenemos las siguientes rutas:

σ1: Fido → Pingüino

σ2: Fido → Pingüino → Ave

σ3: Fido → Pingüino ↛ Vuela

σ4: Fido → Pingüino → Ave → Vuela

Así, el nodo Fido está enlazado con el nodo Vuela a través de su asociación positiva con los nodos Pingüino y Ave, i.e. σ4. No obstante, el mismo nodo Fido está asociado con el nodo Vuela, a través del nodo Pingüino y de ahí se asocia negativamente de manera implícita con el nodo Vuela i.e. σ3. Este caso, ilustra el problema que la red de

herencia ofrece razones para atribuir a Fido tanto la propiedad Vuela como la propiedad no-Vuela en virtud de su configuración estructural.

En las circunstancias anteriormente descritas, existen diversos mecanismos que intervienen en el proceso de atribución de propiedades. En particular, este tipo de configuraciones estructurales se resuelven gracias a lo que se conoce como el algoritmo de distancia inferencial. Este criterio postula que las rutas que involucren una distancia más corta han de tener primacía sobre aquellas rutas más extensas. En este contexto, la distancia se concibe como una función de la cantidad de nodos que constituyen una ruta. En el ejemplo de la red de herencia que contiene al nodo Fido, tenemos que la ruta σ4 involucra un nodo entre el atributo Pingüino y el atributo Vuela, mientras que la ruta σ3 establece un enlace directo entre el atributo Pingüino y el atributo Vuela. Sobre la base de este principio, decimos que el nodo Fido hereda la propiedad no-Vuela.

Abstracción hecha de los detalles particulares de esta red, lo que queremos ilustrar es que más allá de su aparente simplicidad, este tipo de estructuras fácilmente adquieren una considerable riqueza expresiva. Es decir, aún con una serie de elementos muy básicos, podemos expresar información y relaciones complejas, todo a través del mismo principio que subyace a la noción de herencia de propiedades.

7. DISCUSIÓN

Mas allá de los detalles técnicos asociados al concepto de herencia de propiedades, es menester subrayar que el objetivo principal de cualquier teoría de herencia consiste en establecer los criterios mediante los cuales una propiedad puede ser atribuida. Es decir, la finalidad de todo este andamiaje es proveer los recursos formales para representar satisfactoriamente diversos dominios de conocimiento, así como los mecanismos para procesar y extraer información en estas estructuras representacionales. Dicho proceso de atribución de propiedades debe ocurrir en un contexto no-monótono, lo cual le imprime la distintiva complejidad a la herencia de propiedades como noción filosófica (Grégorie, Lagniez & Mazure, 2014). Ahora bien, esta no es una particularidad de esta familia de formalismos basados en estructuras de herencia, sino que es un rasgo intrínseco a esta aproximación a las lógicas no-monótonas en general (Nute, 2003).

Con respecto a la herencia de propiedades Horty, Thomason & Touretzky (1990) hacen hincapié en que este es un proceso que se lleva a cabo en dos etapas:

> Instead of trying to specify directly the statements supported by a given net, we first characterize the arguments or chains of reasoning--represented, now, by paths--that

> are permitted by a net. As in the case of ordinary deducibility, this relation between sets of hypotheses and the chains of reasoning they permit is really the central idea; and it will be the primary focus of our attention. Once we have identified the paths that a net permits, it is natural to define the statements supported by a net by stipulating that a net supports a statement just in case it permits a path enabling that statement. (314)

La primera etapa consiste en identificar las rutas asociadas con las estructuras de herencia. La segunda etapa consiste en determinar la atribución de propiedades sobre la base de aquellas rutas que se sancionen como aceptables. En línea con lo anterior, Antoniou (2006) señala que la segunda etapa, i.e. la evaluación de las diversas líneas de razonamiento y sus respectivas conclusiones, tiene al menos dos acepciones. El proceso evaluativo de la aceptabilidad de las conclusiones retractables puede ocurrir simultáneamente con el proceso de construir las diferentes rutas de razonamiento o, de manera alternativa, dicho proceso puede ser posterior a la construcción de las cadenas de razonamiento correlativas a una teoría no-monótona. La literatura coincide en que estos procesos de revisión de creencias son un rasgo esencial para poder modelar las dinámicas asociadas al razonamiento retractable (Grégorie, Lagniez & Mazure, 2014). Indistintamente de la aproximación, las estructuras de herencia en contextos no-monótonos son lo suficientemente flexibles para dar cabida a ambas aproximaciones (Maier & Nute, 2010).

Ahora bien, las rutas pueden variar ampliamente en su grado de complejidad, y con ello modificar el tipo de información que se pueda inferir. Tal y como lo señalamos a lo largo de nuestro trabajo, aquello que se estime como una ruta legítima cambia de acuerdo con la configuración estructural de la red de herencia. Por ejemplo, la inclusión de enlaces negativos o herencia múltiple modifica las condiciones de construcción de una ruta. Asimismo, si estas estructuras representacionales se definen como grafos acíclicos dirigidos, tal y como lo hemos asumido tácitamente a lo largo de nuestro trabajo, su tratamiento será muy distinto a si dichas estructuras se definen como grafos cíclicos (Gabbay & Shclechta, 2016). Todas estas especificaciones condicionan el rango y amplitud de las conclusiones que se podría tipificar como deducible, sin embargo, esto no cambia el principio fundamental que subyace a la noción de herencia de propiedades.

Las rutas adquieren su valor representacional en tanto denotan cadenas de razonamiento o argumentos (Horty, Thomason, Touretzky, 1990). Consecuentemente, las rutas determinan fundamentalmente la información que se puede extraer. Independientemente de los diferentes grados de complejidad, los formalismos no-monótonos basados en redes de herencia apelan, en última instancia, a la misma noción

indirecta de deducibilidad. En particular, las propiedades que se localizan en tales rutas son las que se prescriben como atribuibles. Tal y como Horty, Thomason y Touretzky lo explican:

> Since we identify the links in a net with assertions, a net can be viewed as a set of hypotheses, or axioms. Let us say, informally for a moment, that an assertion A is supported by a net Γ if we can reasonably conclude that A is true whenever all the links in Γ are true--if the information contained in Γ would naturally lead to the conclusion that A (1990, 314).

En este sentido, la herencia como un proceso inferencial es ampliamente flexible en términos representacionales para modelar una variada gama de relaciones de consecuencia no-monótonas. No obstante, todas estas variaciones de las distintas relaciones de consecuencia lógica apelan a una noción elemental de identificar propiedades y conclusiones que se puedan caracterizar como atribuibles según las circunstancias y especificaciones del formalismo en cuestión.

La noción atribuible es uno de los conceptos inferenciales centrales tanto en las estructuras de herencia, así como en las lógicas no-monótonas. En este sentido, la herencia de propiedades es, a grandes rasgos, el mecanismo para determinar las circunstancias formales bajo las cuales una propiedad, i.e. conclusión, puede ser atribuida dada una base de conocimiento no-monótona en particular. Es decir, una red de herencia apoya aquellas propiedades que están contenidas en las rutas asociadas a dicha estructura, y son estas propiedades las que son consideradas como 'atribuibles'. Esta noción de herencia de propiedades hace explicita una intuición sencilla que ya está contenida en la noción de una ruta. Horty, Thomason y Touretzky explican esta aproximación de la siguiente manera:

> In the context of ordinary deductive logic, we often find ourselves in a similar situation, when we want to know what statements are deducible from a given set of hypotheses. In that context, it is a common practice to approach the question in a roundabout way. Instead of defining the relation of deducibility directly, one first characterizes the deductions--sequences of statements representing certain kinds of arguments, or chains of reasoning--and then defines a statement as deducible from a set of hypotheses if those hypotheses permit a deduction of that statement. (1990, 314)

Es decir, aquella información que se puede deducir de estas estructuras representacionales se establece primero a través de la construcción de las rutas, las cuales se equiparan a argumentos o líneas de razonamiento. Seguidamente, la información deducible es aquella que se encuentra en alguna de estas rutas o líneas de razonamiento. Este procedimiento para caracterizar la información atribuible en relación

con estas estructuras representacionales es el fundamento de una gran clase del mecanismo conocido como herencia de propiedades.

Ahora bien, esta aproximación al proceso de inferencia instanciado en el concepto de herencia de propiedades representa ventajas y retos a esta familia de formalismos lógicos. Por ejemplo, Horty (1994) muestra que la tarea de definir una semántica formal basada en modelos tal y como se hace en gran cantidad de lógicas no-monótonas es objeto de amplio debate. Koons (2021) señala que hay otra serie de limitaciones asociadas a las estructuras de herencia en contextos no-monótonos, como, su incapacidad de expresar ciertas formas de razonamiento por casos y la regla conocida como corte. En este sentido, el mecanismo de herencia no es ajeno a ciertas limitaciones técnicas que acotan su capacidad inferencial, lo cual no implica que no devenga ampliamente útil para analizar otros patrones de razonamiento no-monótonos complejos (Meheus, Straßer & Verdée, 2013), y que inclusive puede ser empleado en el análisis de las obligaciones morales (Horty, 2012). Asimismo, las redes de herencia como formalismos representacionales se benefician de diversos procedimientos computacionales conocidos para este tipo de estructuras, como por ejemplo el algoritmo de distancia inferencial, entre otros (Carpenter, & Thomason, 1990).

Abstracción hecha de los retos anteriormente descritos, lo importante es hacer hincapié en la idea que proponen Horty, Thomason y Touretzky (1990) con respecto a la herencia de propiedades como un mecanismo de deducción para este tipo de formalismos lógicos. En este sentido, la herencia de propiedades es fundamental en el marco de las redes semánticas y el razonamiento no-monótono, en tanto este mecanismo ofrece una implementación eficiente y sencilla de un concepto complejo como lo es la relación de consecuencia lógica.

Esta discusión no toma en cuenta que estos mecanismos discutidos en abstracto obvian la plétora de vicisitudes cognoscitivas a las que se enfrentaría un agente epistémico con una arquitectura inferencial como la anteriormente descrita. (Nute, 2003). Estas consideraciones de orden cognoscitivo escapan los alcances del presente trabajo, empero es menester señalar que son factores no triviales en cualquier discusión sobre diversas estrategias inferenciales. No obstante, no es poco frecuente que estas estructuras representacionales sean concebidas en términos función de un agente en un momento determinado (Bastiaanse & Veltman, 2016), lo cual restringe el ámbito de aceptabilidad de las inferencias que se sigan de las diferentes bases de conocimiento.

8. CONCLUSIONES

A modo de conclusión, tenemos que la herencia de propiedades consiste en el procedimiento mediante el cual se extrae información de una red semántica basado en las cadenas de asociaciones positivas o negativas que se puedan rastrear entre dos nodos cualesquiera. Por un lado, tenemos la herencia simple que opera sobre la base de nodos que se conectan de uno a uno con otros nodos. Por otro lado, tenemos la herencia múltiple que es una extensión de la herencia simple, tal que los nodos pueden estar conectados a varios nodos de manera simultánea. La herencia simple puede ser vista como una clase más restringida de la herencia múltiple.

Ambos tipos de herencia comparten el objetivo de representar dominios de conocimiento e información taxonómica a través de propiedades y clases que pueden vincularse entre sí, sea por medio de asociaciones positivas o bien por medio de asociaciones negativas. La herencia múltiple permite que una propiedad pueda ser compartida entre otros nodos de manera eficiente, y nos facilita estructuras que incrementan significativamente la capacidad expresiva de las redes semánticas.

Asimismo, en el contexto de las lógicas no-monótonas, las asociaciones entre nodos no son definitivas o estrictas sino tentativas o retractables. Este rasgo es la piedra angular del uso de este formalismo basado en redes para el estudio del razonamiento no-monótono. En particular, cuando las asociaciones entre nodos se caracterizan como retractables o tentativas se da pie a las mismas dinámicas que se estudian en otros formalismos lógicos no-monótonos más convencionales.

Finalmente, analizamos la herencia de propiedades como el mecanismo esencial que sustenta estas redes semánticas como un recurso formal para las lógicas no-monótonas y para la representación del conocimiento. Todo esto emerge gracias a la formalización de la idea de atribuir información implícita a través de enlaces positivos y negativos. En particular, resaltamos la idea según la cual este es un procedimiento indirecto para formalizar la relación de consecuencia lógica en este tipo de estructuras representacionales.

El presente trabajo contribuye con el desarrollo de una compresión adecuada de los fundamentos de las redes semánticas como estructuras representacionales. En particular, nos enfocamos en la precisión conceptual de los elementos y procedimientos de las redes de herencia en contextos no-monótonos, en contraposición al enfoque estrictamente técnico de estos componentes en estructuras más complejas. No

obstante, sostenemos la tesis según la cual gran parte de los aspectos fundacionales de las redes semánticas como formalismos no-monótonos están lejos de ser triviales o sobre los cuales haya un consenso satisfactorio.

Ahora bien, la labor aquí presentada no agota el tema, y de este trabajo se siguen diferentes líneas de investigación sobre la materia. Por ejemplo, el uso de la negación fuerte como la interpretación estándar de los enlaces negativos parece ser la forma más intuitiva de asumir esta clase de relaciones. No obstante, existen contraejemplos que no se adecúan a esta noción de la negación lógica. A grandes rasgos, el estudio de los fundamentos de las redes de herencia en contextos no-monótonos es un tema que no han recibido la suficiente atención en la literatura especializada. Esta línea de investigación es fundamental para lograr atender satisfactoriamente otra serie de temas y problemas de mayor complejidad en el razonamiento no-monótono. Nuestro trabajo se inserta en esta iniciativa por una mejor comprensión de esta familia de formalismos lógicos.

REFERENCIAS

Anderson, M. L., Gomaa, W., Grant, J., & Perlis, D. (2013). An Approach to Human-Level Commonsense Reasoning. En K. Tanaka, F. Berto, E. Mares, & F. Paoli (eds.), *Paraconsistency: Logic and Applications* (pp. 201–222). Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4438-7_12

Antoniou, G. (2006). Defeasible Reasoning: A Discussion of Some Intuitions. International *Journal of Intelligent Systems*, 21(6), 545–558. https://doi.org/10.1002/int.20147

Bastiaanse, H., & Veltman, F. (2016). Making the right exceptions. *Artificial Intelligence*, 238, 96–118. https://doi.org/10.1016/j.artint.2016.05.005

Brachman, R. J. (1977). What's in a concept: Structural foundations for semantic networks. *International Journal of Man-Machine Studies*, 9(2), 127–152. https://doi.org/10.1016/S0020-7373(77)80017-5

Brachman. (1983). What IS-A Is and Isn't: An Analysis of Taxonomic Links in Semantic Net-works. *Computer*, 16(10), 30–36. https://doi.org/10.1109/MC.1983.1654194

Brewka, G., Niemelä, I., & Truszczyński, M. (2008). Nonmonotonic Reasoning. En F. van Harmelen, V. Lifschitz, & B. Porter (eds.), *Foundations of Artificial Intelligence* (Vol. 3, pp. 239–284). Elsevier. https://doi.org/10.1016/S1574-6526(07)03006-4

Carpenter, B., & Thomason, R. (1990). Inheritance Theory and Path-Based Reasoning: An Introduction. En H. E. Kyburg, R. P. Loui, & G. N. Carlson (Eds.), *Knowledge Representation and Defeasible Reasoning* (pp. 309–343). Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-009-0553-5_13

Gabbay, D. M., & Woods, J. (2008). Resource-origins of Nonmonotonicity. *Studia Logica*, 88(1), 85–112. https://doi.org/10.1007/s11225-008-9100-2

Gabbay, D. M., & Schlechta, K. (2016). Defeasible Inheritance. In D. M. Gabbay & K. Schlechta (eds.), *A New Perspective on Nonmonotonic Logics* (pp. 75–90). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46817-4_3

Grégoire, É., Lagniez, J.-M., & Mazure, B. (2014). A General Artificial Intelligence Approach for Skeptical Reasoning. En B. Goertzel, L. Orseau, & J. Snaider (eds.), *International Conference*

on Artificial General Intelligence (pp. 33–42). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09274-4_4
Horty, J. F. (2012). *Reasons as Defaults*. Oxford University Press.
Horty, J. F., & Thomason, R. H. (1988). Mixing strict and defeasible inheritance. *Proceedings of the Seventh AAAI National Conference on Artificial Intelligence*, 427–432.
Horty, J. F. (1994). Some Direct Theories of Nonmonotonic Inheritance. En *Handbook of Logic in Artificial Intelligence and Logic Programming (vol. 3): Nonmonotonic Reasoning and Uncertain Reasoning* (3, 111–187). Oxford University Press.
Horty, J. F., Thomason, R. H., & Touretzky, D. S. (1990). A skeptical theory of inheritance in nonmonotonic semantic networks. *Artificial Intelligence*, 42(2), 311–348. https://doi.org/10.1016/0004-3702(90)90057-7
Koons, R. (2021). Defeasible reasoning. En *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2017 Edition). Metaphysics Research Lab, Stanford University. https://plato.stanford.edu/archives/fall2021/entries/reasoning-defeasible/
Kraus, S., Lehmann, D., & Magidor, M. (1990). Nonmonotonic Reasoning, Preferential Models and Cumulative Logics. *Artificial Intelligence*, 44(1–2), 167–207.
Maier, F., & Nute, D. (2010). Well-founded semantics for defeasible logic. *Synthese*, 176(2), 243–274. https://doi.org/10.1007/s11229-009-9492-1
McDermott, D., & Doyle, J. (1980). Non-monotonic logic I. *Artificial Intelligence*, 13(1–2), 41–72.
Meheus, J., Straßer, C., & Verdée, P. (2013). Which style of reasoning to choose in the face of conflicting information? *Journal of Logic and Computation*, 26(1), 361–380.
Nute, D. (2003). Agents, Epistemic Justification, and Defeasibility. Conferencia invitada, 5th Augustus de Morgan Workshop.
Quillian, M. R. (1967). Word concepts: A Theory and Simulation of some Basic Semantic Capabilities. *Behavioral Science*, 12(5), 410–430. https://doi.org/10.1002/bs.3830120511
Reiter, R. (1980). A Logic for Default Reasoning. *Artificial Intelligence*, 13(1), 81–132. https://doi.org/10.1016/0004-3702(80)90014-4
Simonet, G., & Ducournau, R. (1994). On Stein's paper: Resolving ambiguity in nonmonotonic inheritance hierarchies. *Artificial Intelligence*, 71(1), 183–193. https://doi.org/10.1016/0004-3702(94)90065-5
Stein, L. A. (1992). Resolving ambiguity in nonmonotonic inheritance hierarchies. *Artificial Intelligence*, 55(2–3), 259–310. https://doi.org/10.1016/0004-3702(92)90057-5
Strasser, C., & Antonelli, G. A. (2019). Non-monotonic Logic. En E. N. Zalta (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2019). Metaphysics Research Lab, Stanford University. https://plato.stanford.edu/archives/sum2019/entries/logic-nonmonotonic/
Touretzky, D. S. (1986). *The mathematics of inheritance systems* (Vol. 8). Los Altos, CA: Morgan Kaufmann.
Truszczyński, M. (2006). Nonmonotonic logics and their algebraic foundations. En *International Workshop on Computer Science Logic* (pp. 58-71). Berlin, Heidelberg: Springer.
Woods, W. A. (1975). What's in a Link: Foundations for Semantic Networks. En D. G. Bobrow & A. Collins (eds.), *Representation and Understanding* (pp. 35–82). Morgan Kaufmann. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-108550-6.50007-0

JORGE ANDRÉS MORALES DELGADO es Doctor en Filosofía por la Universidad de Victoria en Wellington, Nueva Zelanda, con una especialidad en Lógica y Epistemología. Máster en Ciencias Cognoscitivas de la Universidad de Costa Rica con un estudio sobre la no-monotonía del razonamiento científico. Profesor de Filosofía en la Universidad de Costa Rica.