

EL ASPECTO LÓGICO DEL PROBLEMA DE MARCO Y SUS IMPLICANCIAS: RAZONAMIENTO TEMPORAL Y RELEVANCIA

María Inés Silenzi
Luis Gonzalo García García

Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales (IIESS). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Universidad Nacional del Sur (UNS), Argentina.

Pontificia Universidad Católica del Perú.

Resumen

Aunque el denominado problema de marco generó múltiples debates a finales del siglo pasado, aún es un problema fundamental para el avance en las Ciencias Cognitivas, en general, y para la Inteligencia Artificial, en particular. En este trabajo, y restringiéndonos al aspecto lógico del problema, postulamos que la discusión actual y subyacente a este aspecto gira en torno a cómo determinar lo que no cambia en términos de acciones y propiedades dentro de un sistema lógico formal. Es sobre este aspecto, y en función de sus dificultades (i) definicional y (ii) resolutive, que en este trabajo argumentaremos que el denominado “criterio temporal” no solamente puede estimarse como uno de los principales requerimientos teóricos para (i) resolverlo sino también para (ii) explicitar más claramente su dificultad principal, a saber, “lo que es relevante” frente al cambio en el tiempo. De esta manera, sostenemos que el razonamiento lógico-temporal resulta

Cómo citar este artículo: Silenzi, M. I., & García, L. G. (2022). El aspecto lógico del problema de marco y sus implicancias: razonamiento temporal y relevancia. *Praxis Filosófica*, (55), 69-90. <https://doi.org/10.25100/pfilosofica.v0i55.12082>

Recibido: 10 de abril de 2022. Aprobado: 31 de mayo de 2022.

necesario para construir cualquier solución íntegramente satisfactoria del aspecto lógico del problema de marco entendido como el modo en que, inmediatamente, determinamos relevancia frente al cambio.

Palabras Clave: *problema de marco; aspecto lógico; razonamiento temporal; relevancia; cambio.*

The Logical Aspect of the Frame Problem and Its Implications: Temporal Reasoning and Relevance

*María Inés Silenzi*¹

*Luis Gonzalo García García*²

Abstract

Although the so-called frame problem generated multiple debates at the end of last century, it is still a fundamental problem for the advancement of Cognitive Science, in general, and for Artificial Intelligence, in particular. In this work, and restricting us to the logical aspect of the problem, we postulate that the actual and underlying discussion to this aspect revolves around how to determine what does not change in terms of actions and properties into a formal logical system. It is on this aspect, and based on its difficulties (i) definitional and (ii) resolutive, that in this work we will argue that the so-called “temporary criterion” can not only be estimated as one of the main theoretical requirements to (i) solve it, but also to (ii) make its main difficulty more explicit, namely, “what is relevant” in the face of change over time. In this way, we argue that temporal-logical reasoning is necessary to construct any fully satisfactory solution to the logical aspect of the frame problem understood as the way in which, immediately, we determine relevance in the face of change.

Keywords: *Frame problem; Logical aspect; Temporal reasoning; Relevance; Change.*

¹ Doctora, licenciada y profesora en Filosofía por la Universidad Nacional del Sur (UNS, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina). Desarrolla actualmente tareas de investigación como Investigadora Adjunta en el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y tareas docentes en la Universidad Nacional del Sur en la cátedra “Epistemología y metodología de la investigación”. Sus áreas de investigación se orientan hacia la filosofía de las Ciencias Cognitivas en general, y más particularmente hacia aquellos problemas filosóficos pendientes de investigación tales como el problema de marco. Es directora del proyecto de investigación “Análisis de los diversos usos de evidencia empírica para apoyar o atacar posiciones filosóficas”. Forma parte como investigadora responsable del proyecto (UNC) “Perspectivas teóricas sobre la conciencia y el sí mismo en las ciencias cognitivas clásicas, la neurociencia afectiva y la fenomenología” y del proyecto de investigación (UNS) “Racionalidad y deliberación: Fundamentos filosóficos y modelos formales”.

ORCID: 0000-0002-3003-6261 **E-mail:** misilenzi@uns.edu.ar

² Licenciado en Filosofía por la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), y maestrando en Educación y TIC por la misma universidad. Actualmente es miembro del Grupo Interdisciplinario de Investigación Mente y Lenguaje (PUCP) y del Grupo de Investigación en Arte y Estética (GAE-PUCP). Ha desarrollado su tesis de licenciatura en el problema de marco e investiga temas relacionados con la Inteligencia Artificial, filosofía de la mente, lógica, filosofía de la ciencia y estética. Viene trabajando como predocente en temas de lógica, filosofía de la ciencia, filosofía antigua y medieval en la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP).

ORCID: 0000-0002-5047-8032 **Email:** garcia.gonzalo@pucp.edu.pe

EL ASPECTO LÓGICO DEL PROBLEMA DE MARCO Y SUS IMPLICANCIAS: RAZONAMIENTO TEMPORAL Y RELEVANCIA

María Inés Silenzi

Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales (IIESS). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Universidad Nacional del Sur (UNS), Argentina.

Luis Gonzalo García García

Pontificia Universidad Católica del Perú.

I. Introducción

De manera general, en este trabajo y en concordancia con uno de los varios y distintos retos de la Inteligencia Artificial, nos cuestionamos cómo un sistema inteligente dentro de un mundo cambiante es capaz, mediante un mecanismo formal, de dictaminar lo que permanece igual, con sus mismas propiedades, luego de que una acción es realizada en el mundo. Este desafío, de acuerdo con la literatura sobre el tema (McCarthy & Hayes, 1969), da cuenta del denominado *aspecto lógico del problema de marco*. De manera general, y con ánimo de ofrecer una posible interpretación del problema que desarrollaremos luego con más profundidad, este aspecto cuestiona cómo determinar lo que no cambia en términos de acciones y propiedades dentro de un sistema lógico formal requiriendo, para su solución, de un aparato lógico que permita graficar lo más claramente posible el cambio y, sobre todo, lo que no cambia en un mundo dinámico. Particularmente en este trabajo nos restringiremos solamente al aspecto lógico del problema de marco, de entre otros varios y distintos (Samuels, 2010), puesto que es precisamente sobre este que el problema de marco se ha originado dentro de la Inteligencia Artificial. De hecho, ya la misma expresión “frame problem” (traducida en la literatura como problema de marco), surge dentro del ámbito de la lógica computacional. Al respecto, Shanahan (1997, p. 25) menciona que McCarthy (a quien se le considera su mentor) se encontraba leyendo un libro de geometría cuando acuñó la expresión “frame problem” como análoga del problema de elegir un marco de coordenadas. Dado un conjunto de ejes o un sistema de coordenadas, se utiliza un “marco” de referencia para medir la posición, la orientación o las propiedades de

un objeto que permanece dentro de ese sistema. Es de acuerdo con esta analogía que la expresión “frame problem” se traduce como “problema de marco”. Fieles entonces a su interpretación original, a lo largo de este trabajo, con el propósito de atender al cambio y a la relación causal que hay entre acciones y propiedades que modifican (y no modifican) el resto de propiedades en el mundo, nos restringiremos entonces al aspecto lógico del problema de marco. Así mismo, nos resulta interesante el hecho que, aunque este aspecto ha sido motivo de múltiples debates desde su origen hasta finales del siglo pasado, haya resurgido en la actualidad convirtiéndose en un problema vigente y fundamental para algunas áreas de investigación al punto de condicionar su avance. Con respecto a su trascendencia dentro de, por ejemplo, el campo de las Ciencias Cognitivas, su no resolución limitaría su progreso o, en otras palabras, el futuro de las Ciencias Cognitivas dependería de su resolución (Fodor, 2008). Con respecto a su vigencia dentro de la Inteligencia Artificial, este aspecto resulta particularmente clave al poner en cuestión los alcances y limitaciones de la simulación de alguna o algunas de nuestras capacidades cognitivas en agentes artificiales. Incluso, algunos autores reclaman que el paradigma de investigación de la IA GOFAI³ (acrónimo de *good old-fashioned artificial intelligence*, para hacer referencia al enfoque tradicional de la Inteligencia Artificial basado en la lógica clásica y la solución de problemas) debe someterse a un cambio radical para que este y otros problemas puedan resolverse. De manera más radical aún, para algunos autores, la resolución del aspecto lógico del problema de marco resulta fundamental para el futuro de la Inteligencia Artificial al punto de considerarse su no resolución “como uno de los síntomas del inevitable fracaso de la Inteligencia Artificial” (Crockett, 1994, p. viii).

De acuerdo con estas afirmaciones, resulta notoria la responsabilidad y relevancia que se le ha otorgado a este aspecto dentro de la agenda de investigación actual (Shanahan, 2019) Ya en otros trabajos hemos defendido, aunque a propósito del problema de marco en general (incluidos todos sus aspectos/aristas), que la vigencia de este problema se deba, quizás, a los ricos e interesantes debates que se generan alrededor de dos de sus principales dificultades, a saber, la *definicional* y *resolutiva* (Silenzi, 2015). En efecto, por un lado, puede observarse, de acuerdo con la literatura sobre el tema, que una de las principales controversias que aún rodean al problema de marco es, precisamente, su *dificultad definicional*, es decir, la dificultad de plantearlo. De hecho, la mayoría de las veces se menciona, especialmente al principio de cada tratamiento particular del problema, la complicación de definirlo

³ El término fue acuñado por Haugeland (1985) al explorar las implicancias filosóficas del proyecto de investigación de la Inteligencia Artificial.

claramente. Incluso la mención de esta dificultad ya puede observarse desde los clásicos compilados de Pylyshyn (1987) y Brown (1987). Parafraseando a Stein (1990), este utiliza una metáfora que refleja claramente la confusión que se plantea al querer definir el problema de marco: “a definition of the “frame problem” is harder to come by than the Holy Grail”(p. 219). Pero, por otro lado, también ha sido polémica su *dificultad resolutive*, es decir la posibilidad de resolverlo. De acuerdo con la literatura no hay consenso ni acerca de su naturaleza ni de su solución, si es que la hay (Haselaguer & Van Rappard, 1998).

Pero no es el objetivo de este trabajo atender en detalle ni a la (i) dificultad resolutive ni a la (ii) dificultad definicional de todos y cada uno los aspectos del problema de marco, sino únicamente de su aspecto lógico. Dada la trascendencia de este aspecto para con el progreso de algunas áreas de conocimiento, y el debate actual que alrededor de este se genera, es nuestro objetivo ofrecer en este trabajo cierta claridad sobre la naturaleza de este particular aspecto (dificultad definicional) así también como sobre la aptitud de uno de los varios requerimientos para su resolución (dificultad resolutive). Concretamente, es en función del aspecto lógico del problema de marco y las dificultades mencionadas, que en este trabajo argumentaremos que el denominado “criterio temporal” no solamente puede estimarse como uno los principales requerimientos teóricos para (i) resolverlo sino también para (ii) explicitar más claramente su dificultad principal, a saber, “lo que es relevante” frente al cambio en el tiempo. De otra manera, frente a la cuestión de explicitar cómo determinamos relevancia frente al cambio, defenderemos la importancia de un examen temporal riguroso en un lenguaje formal. Quizás varios de los debates y controversias que aún rodean a este aspecto del problema es justamente la falta de esclarecimiento de ambas dificultades y su relación, resultando nuestro trabajo un aporte al respecto.

De acuerdo con nuestros propósitos, proponemos el siguiente esquema de investigación. En la segunda sección presentamos el aspecto lógico del problema de marco, aproximando su formalización con el razonamiento temporal. En la tercera sección destacamos el criterio temporal de este aspecto como un requerimiento necesario para resolverlo, presentando el análisis temporal de un caso para resaltar nuestro enfoque sobre el cambio. De este modo, enfatizamos algunas perspectivas basadas en ideas de Prior (1967) que favorecen en detalle a nuestra comprensión del razonamiento acerca del tiempo con motivo precisamente del aspecto lógico del problema de marco. En la cuarta sección reflejaremos la relación entre el requerimiento propuesto y el modo en que, inmediatamente, seleccionamos relevancia frente al cambio. Finalmente, en la quinta sección, como comentarios finales,

compartimos las conclusiones de nuestro trabajo con algunos contrastes considerables para la disciplina. En síntesis, con el objetivo general de trazar un camino de investigación fructífero, partimos del aspecto lógico del problema de marco, recayendo sobre su dimensión temporal y, con ello, el modo en que, inmediatamente, seleccionamos relevancia frente al cambio.

II. El aspecto lógico del problema de marco junto al razonamiento temporal

Todo investigador en el campo de la Inteligencia Artificial necesariamente tendrá que enfrentarse con la siguiente cuestión: ¿cómo explicitar qué es lo que permanece igual mientras que muchas y diversas acciones van ocurriendo dentro de un mundo cambiante y complejo? (McCarthy & Hayes, 1969). Pues bien, en esto consiste, resumidamente, el *aspecto lógico* del problema de marco. Por ejemplo, cuando un agente mueve una pelota de un lugar a otro en una cancha de tenis (esa es la acción), el color de la pelota no tiene por qué cambiar, ni tampoco su forma o su tamaño, tan solo por un cambio en su posición. Y tampoco cambiarían las propiedades de otros objetos. Evidentemente, sería un ejercicio agotador para cualquier persona que intente dilucidar todo lo que no cambiaría cuando hace tal o cual cosa. Teniendo en cuenta lo que llamaremos “*la dimensión temporal del aspecto lógico del problema de marco*”, que en este trabajo queremos destacar, podríamos plantear este aspecto como el problema de encontrar una representación que adecuadamente describa qué es lo que no cambia cuando varias y diversas acciones ocurren simultáneamente dentro de un mundo dinámico. Tal representación debería indicar, a modo de ejemplo, que mirar el reloj no podría cambiar el color de unos calcetines ni que tampoco estos podrían cambiar de color cada vez que el reloj sea consultado. Este caso presenta un punto que parece trivial, cuya solución más obvia es simplemente explicitar que “chequear el reloj no afecta el color de los calcetines”. Empero, esta rápida afirmación debería escribirse necesariamente debajo de toda aquella acción que no involucre el cambiar de color de los ojos, del pelo, de la alfombra, etc.

Así, y teniendo en cuenta la dificultad resolutive del aspecto lógico del problema de marco, cualquier propuesta de resolución se enfrenta a la necesidad de determinar ciertas pautas o enunciados que permitan al agente artificial saber qué es lo que no debe revisar para inferir lo que no cambiará al ejecutarse una acción. Pues bien, sostenemos que este requisito es lo que, al fin de cuentas, subyace a todo entendimiento del aspecto lógico del problema de marco. Bajo nuestro punto de vista, tal requerimiento puede verse parcialmente satisfecho al introducir al *tiempo* como variable, puesto

que posibilita graficar formalmente el paso de una propiedad a otra en situaciones sucesivas. Una satisfacción aún más cabal de tal requerimiento debiera tomar al tiempo y también otras variables más detalladas sobre el agente artificial, tales como la frecuencia de tales cambios (como el hecho de que todo lo que es lanzado, tarde o temprano, cae; o que todo cuerpo redondo rueda) o las experiencias o exposiciones previas a situaciones similares (lo que puede incluir, por ejemplo, el aprendizaje por prueba y error). De alguna manera, nuestra propuesta coincide así con quienes defienden que el diseño de aquellos agentes inteligentes, que se desenvuelven en un ambiente de cambios constantes, requiere de un sistema de razonamiento temporal, y con ello, de una teoría formal del tiempo (Vila, 2005). En este sentido, en lo que respecta a la resolución del aspecto lógico, enfatizamos entonces la importancia del rol del tiempo en la formalización de las situaciones y acciones, lo cual desarrollaremos en la siguiente sección. Cabe aclarar que, aunque nosotros procuramos distanciarnos de cualquier tesis metafísica u ontológica del tiempo, al referirnos a la “dimensión temporal” del aspecto lógico nos estamos refiriendo al fenómeno mediante el cual suceden eventualidades antes y después de otras.

Por cierto, y retomando la relación entre la dificultad resolutive y definicional que hemos establecido en nuestra introducción, el aproximar la resolución del aspecto lógico del problema de marco con el razonamiento temporal (dificultad resolutive), nos permitirá también luego esclarecer mejor su naturaleza (dificultad definicional). Precisamente, la idea de base en cualquier estudio abocado a este aspecto del problema resalta que la cuestión general que lo originó gira alrededor de si un agente artificial podría imitar nuestro *razonamiento de sentido común* (Mueller, 2006) presente en nuestro actuar cotidiano, con la misma *inmediatez, adecuación y flexibilidad* con lo que lo hacemos los seres humanos. Así, y teniendo en cuenta tal pretensión, el aspecto lógico cuestiona los procesos inferenciales *inmediatos* que permitirían a un agente artificial determinar relevancia frente al cambio, destacándose también, en su propia naturaleza, la dimensión temporal del aspecto lógico del problema de marco.

En este sentido, modelizar estos razonamientos atribuidos al sentido común permitiría implementar computacionalmente muchas ideas fecundas en distintos campos de desarrollo de la Inteligencia Artificial, como Representación del Conocimiento, Razonamiento Temporal, Planificación, Aprendizaje General, Procesamiento del Lenguaje Natural, entre otros. A modo de hipótesis, al resolver el aspecto lógico estaríamos, como consecuencia, en capacidad de simplificar y agilizar los procesos inferenciales de predicción y planificación. A su vez, el desarrollo de sistemas

apropiados de lógica temporal, en vista de que un criterio temporal permitiría filtrar una gran cantidad de información irrelevante, ahorraría tiempo y energía computacional. De esta manera, nos motiva ilustrar la necesidad de abordar el aspecto lógico del problema de marco a través de un examen temporal formal y su interpretación como un problema de relevancia frente al cambio.

III. El criterio temporal como requerimiento teórico de resolución

Desde un punto de vista histórico, podríamos afirmar que el aspecto lógico del problema de marco surgió frente al intento de McCarthy y Hayes de describir los efectos de las acciones en la lógica de primer orden que denominaron *cálculo de situaciones*. Estos autores trataron de formalizar los razonamientos de un agente artificial frente a la dificultad que se encuentra al programar los efectos de una acción sin tener que programar los no-efectos de tal acción, puesto que un cambio en alguna función o propiedad no implica necesariamente el cambio en otra. Dicho de otro modo, el aspecto lógico de nuestro problema de interés se originó al tratar de, como indica McCarthy, especificar lo que no cambia cuando ocurre un evento (como se citó en Brown, 1987). Para comprender en qué consiste este cálculo, necesitamos entender los conceptos de *situación*, *fluente* y *acción*. En primer lugar, una *situación* viene a ser un estado del mundo en un instante específico. Luego, un *fluente* es una propiedad, o función, cuyo dominio es el espacio total de situaciones. Y una *acción* es aquella por medio de la cual nuevas situaciones son generadas en vista del cambio de algún fluente (Silenzi, 2015, pp. 64-65).

Para aclarar el funcionamiento del *cálculo de situaciones*, veamos la notación sugerida por Shanahan (2016) y adaptada por Silenzi (2021). Partamos por tener un objeto x ; las propiedades o fluentes COLOR (x, a) y POSICIÓN (x, a); y las situaciones sucesivas a, b y c .

- (1) COLOR-1 (x, a)
- (2) POSICIÓN-1 (x, a)

Luego, pintemos el objeto. Por tanto, cambia el color:

- (3) PINTAR (x, a) \rightarrow COLOR-2 (x, b)

Así, el objeto x toma un segundo color en la situación b . De esto no se sigue que POSICIÓN-1 (x, b) permanezca igual en esta segunda situación. Por lo tanto, es necesario agregar la siguiente condición o axioma de marco [*frame axiom*]:

- (4) POSICIÓN-1 (x, a) permanece como POSICIÓN-1 (x, b) luego de PINTAR (x, a)

De este modo, formalizamos el hecho de que un cambio en el color de un objeto no implica necesariamente el cambio en su posición.

Yendo más lejos, podemos ejecutar otra acción para nutrir el ejemplo. Movemos el objeto:

- (5) MOVER (x, b) \rightarrow POSICIÓN-2 (x, c)

De tal modo, en un tercer momento, cambia la posición, sin embargo, ahora se requeriría de una segunda condición o axioma de marco:

- (6) COLOR-2 (x, b) permanece como COLOR-2 (x, c) luego de MOVER (x, b)

Y así queda especificado que un cambio en la posición no afecta al color del objeto.

Técnicamente hablando, si tuviéramos un gran número de acciones a ejecutar en secuencia tendríamos una gran cantidad de condiciones, o axiomas de marco, en vista de que estos determinan lo que no cambia, pues ciertas acciones no afectan a los valores de ciertos flujos o funciones. De hecho, con n acciones y m funciones deberíamos escribir mn condiciones (McCarthy & Hayes, 1969, p. 31). Por este motivo, vemos que cuanto más propiedades y acciones haya, mayor será el número de axiomas de marco necesarios a programar. En este punto es notorio que procesar tanta información para determinar lo que no cambia en el mundo es un problema implícito en el aspecto lógico del problema de marco.

Ahora bien, de lo descripto podemos sostener que, directa o indirectamente, plantear y resolver el problema nos exige entender el funcionamiento de los mecanismos de planificación, predicción y acción presentes en los seres humanos (Ketelaar y Todd, 2001). Más aún, siguiendo a Shoham (1987, p. 5), a pesar de que el problema que nos interesa fue definido en el contexto del cálculo de situaciones, quedó claro desde su origen que este es una manifestación de algún problema fundamental en el razonamiento temporal. Incluso, él sostiene que el aspecto lógico del problema de marco surge de los deseos conflictivos al razonar rigurosa y eficientemente acerca del futuro.

Debido a la importancia de la dimensión temporal del aspecto lógico del problema de marco, en este trabajo nos resulta conveniente enfocarnos en uno de los siete criterios aportados por Morgenstern (1996) para resolverlo. Según esta autora, se requiere tener en cuenta cómo se procesa la información

temporal en tanto evaluamos cómo cambian las propiedades debido a las acciones. Esta perspectiva nos permite notar que la inteligencia de un agente (o de un sistema inteligente) radica en la eficacia con que logra predecir los acontecimientos y, a la vez, conjugarlos con los cursos de acción que lo acercan a sus objetivos. Para ello, es necesario tener claro cómo tales acontecimientos interactúan con las acciones ejecutadas y los efectos de ellas. Estas relaciones entre cada “rebanada de tiempo” son llamadas *leyes de movimiento*, las cuales describen, de alguna manera, cómo el agente piensa que el mundo cambia a lo largo del tiempo (Sprevak, 2005, p. 2). En otras palabras, dichas leyes deben determinar los razonamientos acerca del cambio producido por una acción.

Desde las opciones que presentan las teorías sobre el razonamiento temporal y, sobre todo, del tiempo, encontramos algunas basadas en instantes y otras en intervalos que pueden verse de manera discreta o continua (Vila, 2005). Ya sea de una u otra manera, el investigador se topará con la necesidad de aclarar cuáles serán sus unidades básicas con las que entender la constitución del tiempo, no tanto en un terreno metafísico, sino lógico. Notoriamente, este es un asunto de debate que subyace a toda construcción formal, puesto que fija los conceptos primitivos con los que se entiende el tiempo y las relaciones entre propiedades y acciones.

Sostenemos, de acuerdo con la importancia de la dimensión temporal, que cualquier modelo lógico que intente solucionar el aspecto lógico del problema de marco debe ir más allá de cualquier lenguaje restrictivo como lo es el *cálculo de situaciones* y debe ser compatible con una teoría general del razonamiento temporal. Si bien esta idea sobrepasa nuestro esfuerzo de aportar una formalización temporal del cambio, el tener en la mira la comprensión amplia de las inferencias acerca del paso del tiempo y los cambios que se dan a lo largo de este, ayuda a fijar un norte teórico que se presta, quizás a algunas reorientaciones que pueden alterar el rumbo de las Ciencias Cognitivas y de la Inteligencia Artificial, en ambos casos, como disciplinas tanto explicativas como constructivas. Quizás, el comprender más profundamente los fenómenos inferenciales sobre el tiempo, colabore con la no tan fácil tarea de desarrollar la inteligencia artificial general.

En lo que respecta a la interpretación lógica del problema de marco que en esta sección nos interesa, la notación que se emplee para describir el cambio en el mundo debe ser lo suficientemente explicativa para abarcar las relaciones de consecuencia lógica entre las acciones y las propiedades. Así, la representación del tiempo y los mecanismos que permiten ordenar las acciones y situaciones a lo largo de este son fundamentales al analizar cualquier cambio en el mundo. Por ello defendemos, de acuerdo con la

importancia que en este trabajo le adjudicamos a la dimensión temporal, que resulta necesario detallarla de manera formal para comprender también en qué consiste el aspecto lógico del problema de marco. Teniendo en cuenta y retomando el ejemplo anterior, tengamos la acción PINTAR y un objeto x de color ROJO. Si, en un momento pasado, tenemos al objeto ROJO y, en el momento presente, ejecutamos la acción PINTAR, podemos inferir que en un momento futuro el objeto ya no seguirá siendo ROJO. Si bien esta inferencia es evidente para los seres humanos, al formalizarla nos topamos con que procesar el cambio implica al menos tres momentos: el estado anterior del mundo, la ejecución de la acción y el estado posterior del mundo. Sin embargo, en el mundo real hay un gran número de acciones y cambios, constantemente. Por lo tanto, un modelo temporal preciso del cambio permitiría ordenar y comprender mejor las situaciones a las que se enfrenta un agente inteligente.

Al respecto, y en esto se basa nuestra propuesta, planteamos entonces la lógica temporal métrica de Arthur Prior (1967), brevemente adecuada por Silenzi (2021), como una herramienta formal para modelar el cambio en un mundo complejo donde hay propiedades temporalmente contingentes y donde diversas acciones son ejecutadas. Para empezar, el “llamado sistema minimalista para la lógica temporal métrica (Prior, 1968, pp. 88-97)” (Øhrstrøm & Hasle, 1995, p. 231), está basado en un conjunto de variables proposicionales: p, q, r, \dots ; en otro conjunto de variables métricas: n, m, \dots ; y en las siguientes definiciones de fórmula bien formada:

[Def 1] Las variables proposicionales son fbf.

[Def 2] Si α y β son fbf, y n es un número positivo, entonces $\neg\alpha, \alpha \supset \beta, \alpha \wedge \beta, \alpha \vee \beta, \forall n: \alpha, \exists n: \alpha, P(n)\alpha, F(n)\alpha$ son todas fbf.

[Def 3] No hay otras fbf.

Así, este sistema tiene definiciones que mayormente encontramos en la lógica clásica. La novedad está en que los elementos característicos de la lógica temporal métrica son $P(n)\alpha$ y $F(n)\alpha$, donde P refiere al pasado y F al futuro. Además, la variable n mide la distancia temporal entre el ‘ahora’ y el momento al que refiere la expresión.

Estas expresiones se leen así:

$P(n)\alpha$ ‘ha sido el caso hace n unidades de tiempo que α ’

$F(n)\alpha$ ‘será el caso en n unidades de tiempo que α ’

Y de estos definimos los operadores temporales H y G :

[Def H] $H(n)\alpha \equiv_{\text{df}} \neg P(n)\neg\alpha$

$$[\text{Def } G] G(n)\alpha \equiv_{\text{df}} \neg F(n)\neg\alpha$$

Que se leen:

$H(n)\alpha$ ‘siempre ha sido el caso hace n unidades de tiempo que α ’

$G(n)\alpha$ ‘siempre será el caso en n unidades de tiempo que α ’

De esta manera, cada vez que queremos describir un cambio en el tiempo, podemos hacerlo con estas herramientas lógicas. Pongamos un ejemplo para esclarecer, realizando un ligero cambio. En lugar de emplear variables proposicionales, usaremos propiedades y el objeto al que se adjudican las propiedades. Además, colocaremos una acción para evaluar el cambio en las propiedades. Imaginemos el momento del desayuno en el que colocamos agua a hervir. Así, tenemos este estado del mundo:

LÍQUIDA(agua): “el agua es líquida”

Luego de que el fuego haga su trabajo, la siguiente expresión será el caso:

GASEOSA(agua): “el agua es gaseosa”

81

Ahora, por practicidad expositiva, tomemos como una unidad temporal al minuto y que el agua tardará 15 minutos en hervir. Fijemos como momento inicial las 7am, es decir, el momento 0. Por tanto, las 7:15am corresponden con el momento 15.

Si nos encontramos a las 7am, tenemos lo siguiente:

- (7) $F(0)$ LÍQUIDA(agua) “será el caso en 0 minutos que el agua es líquida”
- (8) $F(1)$ LÍQUIDA(agua) “será el caso en 1 minuto que el agua es líquida”
- (9) $F(2)$ LÍQUIDA(agua) “será el caso en 2 minutos que el agua es líquida”
- (10) $F(3)$ LÍQUIDA(agua) “será el caso en 3 minutos que el agua es líquida”
- (11) $F(4)$ LÍQUIDA(agua) “será el caso en 4 minutos que el agua es líquida”
- (12) $F(5)$ LÍQUIDA(agua) “será el caso en 5 minutos que el agua es líquida”
- (13) $F(6)$ LÍQUIDA(agua) “será el caso en 6 minutos que el agua es líquida”
- (14) $F(7)$ LÍQUIDA(agua) “será el caso en 7 minutos que el agua es líquida”

- (15) $F(8)$ LÍQUIDA(agua) “será el caso en 8 minutos que el agua es líquida”
- (16) $F(9)$ LÍQUIDA(agua) “será el caso en 9 minutos que el agua es líquida”
- (17) $F(10)$ LÍQUIDA(agua) “será el caso en 10 minutos que el agua es líquida”
- (18) $F(11)$ LÍQUIDA(agua) “será el caso en 11 minutos que el agua es líquida”
- (19) $F(12)$ LÍQUIDA(agua) “será el caso en 12 minutos que el agua es líquida”
- (20) $F(13)$ LÍQUIDA(agua) “será el caso en 13 minutos que el agua es líquida”
- (21) $F(14)$ LÍQUIDA(agua) “será el caso en 14 minutos que el agua es líquida”
- (22) $F(15)$ GASEOSA(agua) “será el caso en 15 minutos que el agua es gaseosa”

La acción que produce este cambio de estado es HERVIR(agua). Así que, empleando la lógica métrica temporal junto con la notación sugerida por Shanahan (2016) del *cálculo de situaciones*, describimos dicha acción y el cambio que produce en el tiempo:

(23) HERVIR (agua, 14) \rightarrow GASEOSA (agua, 15)

Que se lee:

“al hervir el agua en el momento 14, entonces el agua es gaseosa en el momento 15”

De este modo, el paso de una propiedad a otra en un momento determinado es capturado por estas formalizaciones, pues buscamos facilitar la notación del cálculo necesario para describir los cambios en el mundo. Por motivos de extensión, nos limitamos a proponer este modo de ilustrar lógicamente el cambio a modo de puntapié para desarrollar una solución más elaborada del problema de marco. No obstante, ¿cómo aplicar esta simbolización correctamente al aspecto lógico del problema de marco? A diferencia del *cálculo de situaciones*, que procuraba formalizar las consecuencias de las acciones que generan cambio, nosotros compartimos la motivación de Prior por entender más claramente la lógica del tiempo con el objetivo de ordenar más provechosamente los conceptos involucrados en nuestro razonamiento frente al cambio, ya que de ese modo encontraremos la perspectiva adecuada para resolver el problema de marco.

Ahora bien, una interpretación válida, sin embargo, rígida, de (23) es que la acción de HERVIR únicamente tiene como consecuencia que el agua se torna GASEOSA. Naturalmente podemos pensar creativamente en escenarios en los que el vapor del agua humedece el techo de la cocina o que disminuye el peso de la tetera, no obstante, veremos en la siguiente sección cómo podemos expresar formalmente el hecho de que nada más cambie luego de ocurrir una acción, lo cual puede resultar más intuitivamente aceptable, haciendo referencia a que el problema de marco involucra el estudio del sentido común.

IV. Sobre la ley de inercia y la relevancia frente al cambio

Fiel a nuestro esquema, lo que nos motiva en esta sección es poner en cuestión si, luego de examinar los alcances y limitaciones de la aplicación de la lógica métrica temporal al cambio (dificultad resolutive), se podría interpretar más claramente al aspecto lógico del problema de marco como un problema de relevancia (dificultad definicional). De otra manera, si vista nuestra propuesta de resolución, se podría explicitar con más nitidez su dificultad principal, a saber, “lo que es relevante” frente al cambio en el tiempo, dada una situación determinada. Si bien la propuesta de interpretar al problema de marco como un problema de relevancia ya ha sido planteada por varios autores, lo ha sido solo en ocasión de varios y distintos del problema de marco (Dennett, 1984, de Sousa, 2011; Evans, 2002, y Majeed, 2019). En este trabajo, y quizás en esto consista nuestro aporte, lo haremos con base *solamente* en el aspecto lógico del problema de marco y teniendo en cuenta, en esto radica quizás la novedad, la definición de la *ley de inercia del sentido común* [*commonsense law of inertia*] propuesta inicialmente por Shanahan (1997). Así, y en concordancia con la propuesta de Chow (2013) y Samuels (2010), proponemos comprender al aspecto lógico como uno de los varios aspectos (aristas) del problema de marco visto como un “gran problema de relevancia”.

Veamos en primer lugar, en qué consiste la ley de inercia. Esta ley es parte de un estudio de porte más matemático sobre las operaciones inferenciales respecto del cambio, resultándonos especialmente conveniente, dados nuestros propósitos, para graficar el paso de una propiedad a otra y, más aún, de la permanencia de una propiedad que no se ve afectada por una acción realizada. Volviendo a la resolución del aspecto lógico del problema de marco, ya hemos mencionado que cualquier investigador que comienza a tratarlo, podría imaginarse que solo bastaría afirmar al tratar de resolverlo: *Si una acción es realizada y esta no afecta a una propiedad particular, entonces, esa propiedad, simplemente, no cambia*. Pues bien, en

esto consiste precisamente la mencionada *ley de inercia* (Shanahan, 1997, p. 17). Ella dictamina que las propiedades del mundo no se ven alteradas por una acción a menos que se señale lo contrario o, en otras palabras, que hay un mecanismo de inferencia *por defecto* que mantiene a las propiedades como estaban antes de una acción a no ser que se indique que sí fueron afectadas. Esta idea estuvo de base en los intentos de solución actuales del aspecto lógico del problema de marco. Entendida de otra manera, y frente a la resolución del problema que implica especificar de forma explícita, para cada descripción de un cambio, todo aquello que no se ve afectado por el mismo, resultó necesario añadir un supuesto *por defecto*, denominado *principio de inercia*, que se podría enunciar del siguiente modo: “si no existe evidencia de que algo haya cambiado, entonces no ha cambiado”. Lo interesante en este enunciado radica en que, observado en los seres humanos, implica que nuestra percepción del cambio tiende a mantener las cosas en una estabilidad estática, es decir, que no hay cambio. Aunque pueda que parezca contradictorio, el punto crucial es que esta ley somete el mundo a una visión estática de este que se dinamiza dependiendo de lo que se explicita como efecto de una acción. Este planteo puede generar debate sobre si toda acción ya viene con un alcance determinado de efectos o si toda acción tiene un alcance de efectos al infinito, lo cual es más probable dado que el mero transcurso del tiempo ocasiona cambios que se ven ligados a las acciones ejecutadas.

Empero, una idea que conviene tener en mente al aplicar esta ley al aspecto lógico del problema de marco es que “(...) es mejor pensada como un dispositivo representacional, en lugar de un enunciado acerca del mundo” (Shanahan, 1997, p. 25), dado que la situación propiamente dicha no expresa, o da a conocer, esta noción de permanencia de las propiedades no afectadas directamente por la acción específica. Es decir, esta ley no define exactamente qué es lo que no cambia, sino que da una máxima que sirve de criterio al determinar si algo, una propiedad, se ha visto alterada o ha cambiado a causa de una acción. En suma, atendiendo a la dificultad resolutive del aspecto lógico del problema de marco, cabe incidir, en base a esta ley y nuestra propuesta general de resolución, que un criterio temporal resulta necesario para formalizar cualquier planteamiento del problema de marco lógico, pues este implica (desde su origen) un sistema lógico cuya meta era formular simbólicamente lo que no cambia al ocurrir un evento. De esta forma, destacamos nuevamente la importancia de la dimensión temporal al elaborar cualquier formalización, y con ello, resolución del aspecto lógico del problema de marco.

Pero, también, y acá nos inclinamos hacia la dificultad definicional del aspecto lógico del problema de marco, lo es para clarificar de qué trata este particular aspecto, o, de otra manera, para comprender su naturaleza. Con el propósito de conjugar la ley de inercia con el aspecto lógico del problema de marco, visto como un problema de la relevancia, partimos del hecho de que la relevancia denota a la información que es útil de emplear en una determinada situación y cuya inclusión en los procesos inferenciales resulta necesaria para enfrentar la situación en la que el agente se encuentra. A este respecto, Xu y Wang (2012) ofrecen dos modos de plantear el problema de la relevancia. El primero sugiere un escenario en el que se lleva a cabo una tarea y en el que se necesita elegir, sin importar las estrategias o el tiempo que requiera, lo relevante dada una gran cantidad de información. En cambio, el segundo planteamiento enfatiza que se necesita elegir la información relevante reduciendo el costo de poder computacional. Observamos que en el primer caso podríamos incluir la búsqueda exhaustiva como criterio de selección, pero este tipo de solución no mantendría correspondencia con la cognición humana, ya que nosotros no somos máquinas que revisan cada mínimo detalle informativo al momento de afrontar una situación. Preferimos relacionar el problema de marco lógico con la segunda visión de relevancia, según la cual se busca reducir el costo y el esfuerzo por parte del agente para filtrar lo irrelevante y escoger lo que sí es relevante dada una situación. Nuestra elección se basa en la idea de fondo de nuestro examen temporal aplicando la lógica del problema de marco. Optamos por reducir los costos computacionales del agente, ya que consideramos la existencia de una lógica temporal que naturalmente funciona en nuestro aparato cognitivo para evaluar el cambio. En otras palabras, creemos que, en cierta medida, existe una lógica natural respecto al razonamiento temporal que permite que nosotros los humanos procesemos la información que obtenemos de las situaciones para decidir qué cambia o qué no cambia cuando se ejecuta una acción en un mundo complejo de múltiples acciones y propiedades.

Quizás resulte aquí oportuno tomar en consideración algunas otras perspectivas, que como la de Bell (1990), sostienen que el problema de marco no es, en efecto, un problema. Este autor sostiene precisamente que, aunque el problema de representar la inercia frente al cambio surge en todo formalismo temporal, hay criterios computacionales que, tanto en teoría como en práctica, no permitirían que aparezca algo tal como el aspecto lógico del problema de marco. Si bien no examinaremos en profundidad su posición, sostenemos, vista la importancia de la dimensión temporal en la que en este trabajo queremos enfatizar, que su acercamiento quizás resulta muy simplificado al momento de graficar el cambio en una lógica

temporal. Si bien el cambio amerita trazar hitos temporales que sirven para orientarnos en el esquema temporal en el que las situaciones se desarrollan, colocar un operador epistémico tal vez no sea el camino más provechoso debido a que el cambio en un escenario es una cosa, y el conocimiento, y con ello las implicancias en términos de relevancia, de ese cambio es otra. Nosotros no tomamos en cuenta si el agente sabe o no sabe si se ejecutan acciones y en base a eso determina qué propiedades permanecen igual, sino que damos por hecho que el agente sabe que se ejecutan acciones, por lo que no sería necesario agregar un operador epistémico. Puesto que relacionar los efectos y no-efectos de las acciones permite ilustrar con gran detalle la complejidad dinámica con la que el mundo opera, creemos importante y fecundo el camino de investigar cómo modelizar las consecuencias de las acciones y, más aún, lo que es relevante al transcurrir las situaciones en el tiempo. Por supuesto, aunque el reto de investigación radica en definir, frente al modo en que, inmediatamente, determinamos relevancia, cuáles son los principios claves que determinan nuestro procesamiento cognitivo acerca del tiempo, sostenemos que ilustrar formalmente el cambio con motivo del aspecto lógico resulta fundamental para tal propósito.

V. Comentarios finales

En este trabajo, dada la trascendencia del aspecto lógico del problema de marco para las Ciencias Cognitivas como para la Inteligencia Artificial, hemos postulado que una posible solución al aspecto lógico del problema de marco requiere de un criterio temporal que, a su vez, necesita un modelo lógico-temporal apropiado del cambio. Por esta razón, y con ánimo de destacar la dimensión temporal del problema de marco, hemos propuesto algunas herramientas formales adecuadas a su resolución, en base a la lógica temporal que nos inspiró el trabajo de Prior, para esclarecer la notación que empleamos al describir el cambio (dado que el cálculo de situaciones no explicita el aspecto temporal), ofreciendo así una simbolización idónea para modelizar el aspecto temporal, fundamental a nuestro juicio, para resolverlo.

De esta manera, hemos propuesto un conciso de ideas basadas en dos grandes presupuestos: (i) que un criterio temporal puntual o un modelo preciso del tiempo es clave para abordar el aspecto lógico del problema de marco y, por supuesto, resolverlo; y (ii) que el abordarlo de esta manera colabora en la tarea de explicitar más claramente el modo en que, inmediatamente, determinamos relevancia frente al cambio.

En síntesis, el alcance de nuestro trabajo, fue el de argumentar cómo resulta importante y crucial el criterio temporal y dar algunas perspectivas sobre las formalizaciones que buscan resolver el aspecto lógico del problema

de marco. Sin embargo, hay puntos resaltantes que son materia de futuras investigaciones. Incluir más variables relevantes para razonar ante el cambio como las propiedades que cambian intrínsecamente (es decir, que no cambian como resultado de una acción); por ejemplo, un objeto con pintura fresca pronto tendrá la pintura seca y el paso de la pintura fresca a seca no depende de una acción. Otro caso para mayor precisión en una resolución temporal sería responder ante el problema de la ramificación, que trata de averiguar cuáles son los efectos secundarios, terciarios y demás de cada acción. Incluir una resolución formal al problema de la ramificación desde una perspectiva temporal va de la mano con la solución que se ofrecería del aspecto lógico del problema de marco. Asimismo, consideramos que aún hay bastante trabajo por hacer respecto a la lógica temporal aplicada a problemas tales como los que el propio razonamiento temporal presenta, quedando tales tareas pendientes en nuestra agenda de investigación.

Referencias bibliográficas

- Bell, J. (1990). Why the frame problem is not a problem. *AI Communications* 3(1), 3-10.
- Brown, F. M. (Ed.). (1987). *The frame problem in artificial intelligence: Proceedings of the 1987 workshop*. Morgan Kaufmann Publishers.
- Chow, S. J. (2013). What's the problem with the frame problem? *Review of Philosophy and Psychology*, 4(2), 309-331. <https://doi.org/10.1007/s13164-013-0137-4>
- Crockett, L. (1994). *The Turing test and the frame problem. AI's mistaken understanding of intelligence*. Ablex. http://www.lib.ysu.am/disciplines_bk/604e61ec847b6c36a986726209a2c099.pdf
- De Sousa, R. (2011). *Emotional Truth*. Oxford University Press.
- Dennett, D. (1984). Cognitive wheels: The frame problem of AI. En C. Hookway (Ed.), *Minds, machines & evolution* (pp. 129-152). Cambridge University Press. http://cinc.uaem.mx/~bruno/material/dennet_93_cognitiveWheels.pdf
- Evans, D. (2002). The search hypothesis of emotions. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 53(4), 497-509. <https://doi.org/10.1093/bjps/53.4.497>
- Fodor, J. (2008). *LOT2: The language of thought revisited*. Oxford Clarendon Press.
- Haselager, W. & van Rappard, J. (1998). Connectionism, systematicity, and the frame problem. *Minds and machines*, 8(2), 161-179. <https://doi.org/10.1023/A:1008281603611>
- Haugeland, J. (1985). *Artificial intelligence: The very idea*. The MIT Press.
- Ketelaar, T. & Todd, P. M. (2001). Framing our thoughts: Ecological rationality as evolutionary psychology's answer to the frame problem. En H. R. Holcomb III (Ed.), *Conceptual challenges in evolutionary psychology: Innovative research strategies* (pp. 179-211). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0618-7_7

- Majeed, R. (2019). What can information encapsulation tell us about emotional rationality? En L. Candiotto (Ed.), *The value of emotions for knowledge* (pp. 51-69). Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15667-1_3
- McCarthy J.& Hayes P. (1969). Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence. En B. Meltzer, & D. Michie (Eds.), *Machine intelligence 4* (pp. 463-502). Edinburgh University Press. <http://www-formal.stanford.edu/jmc/mcchay69.pdf>
- Morgenstern, L. (1996). The problem with solutions to the frame problem. En K. Ford, & Z. Pylyshyn (Eds.), *The robot's dilemma revisited: The frame problem in AI* (pp. 99-133). Ablex. <http://www-formal.stanford.edu/leora/fp.pdf>
- Mueller, E. T. (2006). *Commonsense reasoning*. Morgan Kaufmann. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-369388-4.X5054-1>
- Øhrstrøm, P., & Hasle, P. (1995). *Temporal logic: From ancient ideas to artificial intelligence*. Kluwer Academic Publishers. <https://doi.org/10.1007/978-0-585-37463-5>
- Prior, A. (1967). *Past, present and future*. Clarendon Press.
- Pylyshyn, Z. W. (Ed.). (1987). *The robot's dilemma: The frame problem in artificial intelligence*. Ablex.
- Samuels, R. (2010). Classical computationalism and the many problems of cognitive relevance. *Studies in History and Philosophy of Science*, 41(3), 280–293. <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2010.07.006>
- Shanahan, M. (1997). *Solving the frame problem: A mathematical investigation of the common sense law of inertia*. MIT Press.
- Shanahan, M. (2016). The frame problem. En E. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/entries/frame-problem/>
- Shanahan, M. (2019). Artificial intelligence. En M. Sprevak, & M. Colombo (Eds.), *The routledge handbook of the computational mind* (pp. 91-100). Routledge.
- Shoham, Y. (1987). What is the frame problem? En F. Brown (Ed.), *The frame problem in artificial intelligence* (pp. 5-21). Morgan Kaufman Publishers. <https://doi.org/10.1016/B978-0-934613-32-3.50005-8>
- Silenzi, M. I. (2015). ¿En qué consiste el problema de marco? Confluencias entre distintas interpretaciones. *Eidos*, (22), 49-80. <https://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/eidos/article/view/6381>
- Silenzi, M. I. (2021). *Lógica temporal métrica aplicada al problema de marco [Frame problem] en inteligencia artificial*. [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Digital de Tesis y Trabajos de Investigación PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/20842>
- Sprevak, M. (2005). The frame problem and the treatment of prediction. En L. Magnani, & R. Dossena (Eds.), *Computing, philosophy and cognition* (pp. 349-359). King's College Publications. <https://marksprevak.com/pdf/paper/Sprevak---frame%20problem%20and%20prediction.pdf>
- Stein, L. A. (1990). An atemporal frame problem. *International Journal of Expert Systems*, 3(4), 371-381.

- Vila, L. (2005). Formal theories of time and temporal incidence. En M. Fisher, D. Gabbay, & L. Vila (Eds.), *Handbook of temporal reasoning in artificial intelligence* (pp. 1-24). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1574-6526\(05\)80003-3](https://doi.org/10.1016/S1574-6526(05)80003-3)
- Xu, Y. & Wang, P. (2012). The frame problem, the relevance problem, and a package solution to both. *Synthese*, 187, 43–72. <http://www.jstor.org/stable/41681621>

