

A New Way to Conceive Memory: Between the Philosophy of the Mind and the Machine Learning

J. C. Rincón

Abstract—This article investigates on how an artificial machine can take advantage of philosophical descriptions on the form as the human beings solve associative problems in his memory structure. Relies on philosophical description of the association given in the human being's structure of the memory to model it in a mathematical way looking forward to serve as a base of computational algorithm that can be implemented to improve the technical of analysis of information used for machine learning and data mining.

Keywords—Philosophy, Mind, Human Memory, Data Mining, Machine Learning.

I. INTRODUCCIÓN

Representar procesos inteligentes propios de seres humanos y simularlos en máquinas ha sido un interés investigativo de la inteligencia artificial [13]. En dicha línea se ubica este artículo, de forma puntual indaga sobre cómo una máquina artificial puede aprovechar nuevas concepciones teóricas sobre el funcionamiento de la memoria en seres humanos. En otras palabras, busca determinar cómo el ser humano relaciona, de forma asociativa, lo dado en una experiencia presente con lo ya vivido, y cómo el aprendizaje de máquinas y la minería de datos [14] pueden aprovechar dicho planteamiento [12]. El artículo parte de la descripción filosófica de la asociación en la estructura de la memoria, y luego expone los planteamientos matemáticos que modelan las descripciones asociativas. La descripción fenomenológica inicia con la estructura de la memoria como flujo continuo para detallar los elementos que asocian cada unidad (protención, retención e impresión primaria) [12]. Con la descripción fenomenológica expuesta, se plantea una formulación matemática acerca de la representación del conocimiento, la protoasociación, la asociación reproductiva y la asociación inductiva [13]. Tomando la formulación matemática, se realiza una propuesta de uso en un modelo computacional.

I. MODELO DE LA ASOCIACIÓN EN LA ESTRUCTURA DE MEMORIA

Plantear la memoria como un repositorio o contenedor de objetos, paradigma eterno de las ciencias de computación, ofrece problemas para el manejo de la espacialidad, la temporalidad y el aprendizaje de máquinas. Se plantea entonces, siguiendo planteamientos filosóficos, que la memoria humana es flujo interrelacionado de objetos pasados hasta el instante actual donde se realiza la experiencia

perceptual. La base de todo recordar y recordar se encuentra en la capacidad asociativa [1]. Para establecer cómo en la asociación se establecen relaciones entre momentos vividos se esboza la estructura de la memoria. A continuación se expone los elementos claves de dicha estructura identificados en seres humanos, con el fin de inspirar autómatas que operen de forma radicalmente diferente a los actuales.

ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

La *unidad* que conforma la estructura de la memoria es el *momento vivido*, compuesto por tres elementos (Fig. 1): impresión primaria en el *instante vivido* (por ejemplo, en un encuentro de tenis, la bola de tenis golpeando la raqueta); retención (la bola rebotando en la cancha *antes* de ser golpeada); y protención (se visualiza la trayectoria de la bola al ser contestada, rebotando en la cancha del oponente; se pronostica que él *es* incapaz de responder dicho servicio y pierde el *set*) [8]. La estructura y su relación con el flujo cronológico del tiempo se pueden representar como un enlace fluido de eventos (Fig. 1).

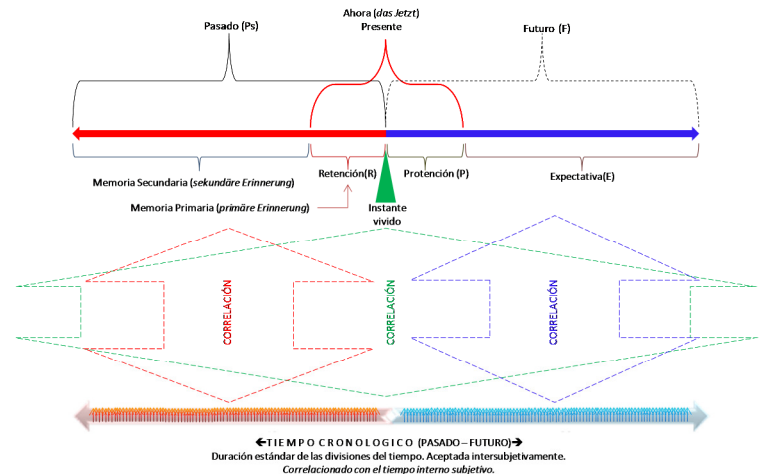


Figura 1. Estructura de la memoria según planteamientos filosóficos de E. Husserl.

Cada momento vivido es una unidad no discreta relacionada con los *momentos* anteriores y la expectativa de los *momentos* a venir, razón por lo cual se habla de *flujo*. Si se toma por ejemplo la introducción a la quinta sinfonía de Beethoven con su famoso *ta, ta, taaan* (técnicamente¹ C#, C#, D, E, E), donde al escuchar, por ejemplo, la tercera posición (D), se mantiene en retención la segunda nota (C#) y se *espera* la cuarta nota

¹ El sistema de notación musical de *Helmholtz* es un sistema formal para nombrar las notas acústicas. Permite nombrar sonidos determinados por una frecuencia constante. En él se utilizan las letras C, D, E, F, G, A y B para nombrar las notas. Dichas letras corresponden en el sistema latino de notación acústica a las tonalidades *do, re, mi, fa, sol, la y si*. El símbolo # significa una nota *sostenida*, a saber, que perdura en el tiempo.

(E). Es como si en el *instante vivido* (Fig. 1) se escuchara al tiempo la tercera nota (D, impresión primaria), la nota recordada, (C#, segunda nota) y la nota por venir (E, cuarta nota). Pero no se escuchan superpuestas, la segunda y la cuarta nota proporcionan un *contexto* (retención/protención) para la ejecución de la tercera nota (instante vivido). La segunda nota, en retención, está presente *como pasado*, en tanto que la cuarta nota está *presente* como *futuro* [11]. Este contexto se da por el *hundimiento* en el tiempo de la segunda nota y la *expectativa* de la cuarta nota. Aunque los tres elementos son perceptuales, solo los actos de retención y protención proporcionan contexto temporal [10]. El *acceso* a las experiencias vividas se realiza a través del acto de conciencia denominado *recuerdo*².

El *recuerdo* se puede asumir como forma de acudir al segmento o flujo temporal en el cual un *acto* fue originalmente constituido; *reproduce* una serie trascurrida de las experiencias [8]. En el acto de recordar se recurre a la *asociación* de elementos pertenecientes al flujo de momentos vividos en el ámbito de la memoria, tanto primaria como secundaria (Fig. 2).

El acto asociativo permite realizar un enlace organizado entre un objeto *pasado* (en memoria secundaria o en retención) o uno *esperado* (en protención o en expectativa) con uno *actual*. Con ello en mente se puede diferenciar tres tipos de asociación: reproductiva, inductiva y protoasociación (Fig. 2).

PROTOASOCIACIONES, ASOCIACIONES INDUCTIVAS Y REPRODUCTIVAS

Al recordar se *vinculan elementos* con diversos fines (Fig. 2): la *protoasociación* (*Urassoziation*) busca unificar el contenido de los objetos pasados y apropiados en la fase retencional; la *asociación reproductiva* permite establecer un enlace entre lo que se está viviendo y el pasado, abarcando el flujo de eventos en la memoria secundaria; y la *asociación inductiva* posibilita un enlace entre el instante vivido y el futuro, con *dirección* hacia lo *esperado* (expectativa), es decir, opera de forma similar a la asociación reproductiva pero en sentido *contrario*. En el acto de *protoasociación* se relaciona el contenido, percibido por los sentidos, que *pertenece a la esfera del instante vivido* con lo que se recuerda de los objetos vivenciados. Es independiente de las asociaciones inductivas y reproductivas, pero le permite a éstas el acceso a una forma primigenia de un objeto de la estructura de la memoria. Un ser para *ver* un objeto en su cotidianidad, debe *asociarlo* con elementos ya vistos similares, sin hacer juicios lógicos.

² Al hablar de recuerdo se podría pensar que se puede “recorrer” como un túnel, de forma continua y en cualquier sentido la memoria. Aunque no es tema central, se debe notar que no hace sentido (y salvo seres humanos excepcionales, es imposible) para un ser humano recorrer de forma *continua* y en sentido inverso (*rückwärts*) el camino del tiempo [7]. Dicha posibilidad conduciría, por otro lado, a la “monotonía” de la existencia. Dicho proceder posee tanto sentido como los “procesos de memoria” de *Funes, el memorioso*: «Dos o tres veces había reconstruido un día entero; no había dudado nunca, pero cada reconstrucción había requerido un día entero. Me dijo: “Más recuerdos tengo yo solo que los que habrán tenido todos los hombres desde que el mundo es mundo”. Y también: “Mis sueños son como la vigilia de ustedes”. Y también, hacia el alba: “Mi memoria, señor, es como vaciadero de basuras”» [3].

Los actos *protoasociativos* permiten unificar la avalancha de información proveniente de los sentidos: tacto, olfato, gusto, oído, visión, permitiendo una respuesta a nivel pre-consciente del *sujeto* al estímulo recibido. El acto de protoasociación se lleva a cabo *de forma exclusiva* dentro de cada uno de los campos sensoriales del sujeto en la esfera de la percepción sensorial. El papel de las protoasociaciones es organizar la multiplicidad de datos sensoriales recibidos en unidades significativas [2].

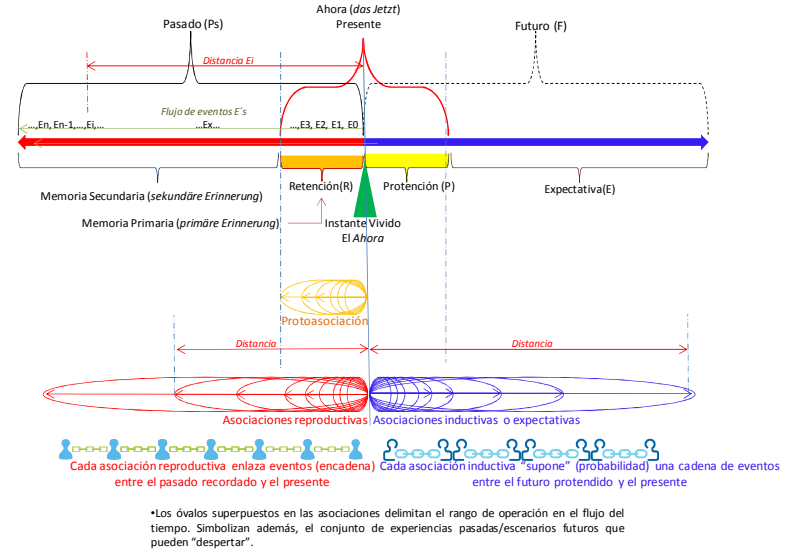


Figura 2. Relación de la estructura de la memoria y la asociación reproductiva, inductiva y protoasociación.

Las asociaciones reproductivas producen flujos de eventos o “cadenas” de impresiones o de “eventos” que se enlazan con el *instante vivido* (Fig. 2). Por su parte, en los actos asociativos-inductivos se propicia el despliegue de *cadenas* de eventos futuros basados en escenarios *posibles* que se pueden anclar a un punto de llegada en el *instante vivido*³. A mayor coherencia y fuerza de enlace que posea una “cadena” con el *instante vivido*, mayor será la «certeza memorial» [7].

En los actos de asociación reproductiva se posibilita que las experiencias del presente “despierten” (*Weckung*) un conjunto de experiencias del pasado. Basa su operar en la regularidad de las experiencias, en otras palabras, que unas se *asemejen* a otras. Dicha asociación puede acaecer con y sin mediación. En la asociación sin mediación, una impresión (A) despierta *inmediatamente* otra impresión pasada (C). Por ejemplo, al ver un *Jeep® Willys* clásico⁴, se recuerda el jeep del abuelo y la

³ De forma concreta, una persona puede divagar sobre su futuro, pero si los eventos concatenados que éste enlaza no se pueden anclar al presente, no se puede establecer una relación asociativa inductiva de los mismos. Tómese por ejemplo una persona con trabajo de oficina, de 80 años, clase media, que divague sobre qué debería hacer para ganar la competencia de *skateboarding* en los juegos extremos (X Games®). En este caso es imposible lograr un flujo coherente de eventos que se puedan “anclar” hasta el *instante vivido*.

⁴ *Jeep* es una marca de Chrysler Group. Estos vehículos todo terreno contribuyeron de forma decisiva a la colonización del eje cafetero en Colombia. Es recuerdo perenne en muchas familias Colombianas. Fue introducido a Colombia en 1950 dentro del plan de la posguerra denominado “Alianza para las Américas”. El primer importador fue la firma “Leonidas Lara e Hijos”. Como dato curioso, en la campaña inicial de mercadeo se promocionaban como los “Los Agrijeeps”. Lo que se quiere resaltar es que

sensación del viento en la cara al ir de paseo sobre las montañas de Colombia. Las asociaciones que ocurren de forma mediada establecen una triada en la cual la impresión original (A), despierta una impresión pasada (C) por medio de la impresión que las relaciona (B). En este tipo de actos asociativos no solo se puede recurrir a una impresión para realizar la asociación entre A y C, se puede recurrir también a una serie intermedia de impresiones: B', B'', B''' (*Bruckenglieder*) [7]. Aquí se puede citar dos ejemplos para los dos casos anteriores. En el primer caso, –acto asociativo mediado de forma simple–, en una celebración religiosa la imagen de una playa llega a la conciencia. En este caso, “algo” del entorno, tal vez una *palma* decorando el altar, hace recordar de forma directa la playa. En el segundo caso, –acto asociativo mediado por una serie intermedia de impresiones–, un sujeto, al ver la escultura de bronce *Mujer de pie, desnuda* del maestro Botero en el parque San Pío en Bucaramanga (Colombia), recuerda una visita al Museo Nacional de Antropología en México D.F., pero no el calendario *Azteca* u otro ícono allí expuesto, recuerda de forma específica una hermosa extranjera con la cual recorrió el museo hace algún tiempo.

RELACIONES DE LA ASOCIACIÓN

En los actos asociativos se distinguen relaciones de semejanza, de uniformidad, de contraste y las de contigüidad: la *semejanza* opera en el mismo plano pero en sentido contrario al *contraste*; el *contraste* posibilita la relación de objetos que son disímiles entre sí, pero que en esencia conservan una característica común; la contigüidad posibilita el acceso a otra fuente de regularidad legal de los complejos sensoriales asociativos, al viabilizar que objetos *próximos* se relacionen [8].

Entre semejanza y uniformidad se puede ver que es una diferencia de grado lo que distingue la semejanza (*Ähnlichkeit*) de la uniformidad (*Gleichheit*). La uniformidad requiere congruencia o coincidencia completa, en tanto que la semejanza requiere coincidencia parcial. El *contraste* se relaciona con el grado de conflicto presente como disonancia en relación con los elementos despertados por resonancia. Las relaciones asociativas operan entre objetos de la estructura de la memoria donde dichos objetos se corresponden *cualitativamente* con los actos apropiativos [7].

Zonas de manifestación de las asociaciones

En el acto de asociación se recurre a la resonancia, al ritmo y a la armonía para explicar el carácter de *zona de manifestación* del nexo de elementos postulados y separados de la síntesis temporal [7]. La manifestación se da en las interconexiones del material percibido por los sentidos.

Las asociaciones se pueden *manifestar* como *resonancias* (*Resonanz*) entre elementos del objeto de memoria (*Gegenwartsgegenstände*), es decir, un elemento al *amplificar* a otro puede conformar una cohesión co-relativa. Las

impresiones en el *instante vivido*, por filiación, causan resonancia de objetos en el pasado donde dichos objetos permiten sintetizar y estructurar las impresiones actuales. La resonancia como especie de recubrimiento (*Deckung*) remoto dado en la separación (*Sonderung*) o distancia entre objetos sienta las bases de la semejanza por medio de la posibilidad de un análisis comparativo. Por ello se puede decir que la *semejanza* es unidad por resonancia armónica. En otras palabras, en resonancia se da la experiencia de objetos en diferentes lapsos de tiempo donde la *semejanza* entre objetos está determinada por el grado de afinidad entre sus elementos constituyentes, a saber, por el grado de armonía.

La armonía esboza *grados* relativos al nivel de *similitud* logrado. Dos objetos separados en el tiempo pueden tener afinidad armónica sin ser de la misma naturaleza. Por ejemplo, el anillo de matrimonio puede *recordar*, por similitud basada en carencia armónica, el momento del divorcio. La armonía se sustenta en síntesis distantes relacionadas de forma rítmica.

Por medio del ritmo⁵ se posibilitan las asociaciones de semejanza que pueden formar síntesis distantes que desplazan la continuidad de las cadenas protencionales. En el ritmo se armonizan las cadenas de *retención-impresión-protención* conectados a múltiples puntos sensibles, logrando presentar un “evento” de forma unificada. El ritmo pertenece a la esfera de la pre-conciencia en el sentido de conciencia que encuentra unidades rítmicas ya efectuadas a nivel pre-predicativo, pre-lógico o sin la participación *activa* del sujeto.

La rítmica permite que diversas esferas sensibles entren en escena (*aufreten*) aparentando una cohesión afectiva, logrando con ello coherencia e independencia del *tipo* de señal que se reciba. Por lo tanto, en el acto de asociación se pueden *solapar* (*übergreifen*) los campos sensibles. Por ejemplo, una rítmica de señales luminosas puede *recordar* una rítmica de señales sonoras.

La asociación se fundamenta en la unidad de relación de cosas (*dinglich*) de toda experiencia la cual expone co-pertenencia (*zusammgehörigkeit*) sensible (*fühlbar*) de partes y de lados (*Seiten*) de la objetualidad unitaria que aparece [8]. Dicha co-pertenencia posibilita un orden y un vínculo determinado donde el objeto, parte o dimensión, emerge en *relación* con *otros*. Con la anterior descripción fenomenológica del acto asociativo en la estructura de la memoria se procede a plantear una formulación matemática que permita implementar dichos planteamientos en máquinas.

II. MODELO DE FORMALIZACIÓN DE LA ASOCIACIÓN⁶

Los tipos y clases de asociaciones descritos plantean retos en cuanto a su formalización matemática. Los modelos matemáticos planteados a continuación parten del supuesto de que permiten delinear *algoritmos* con los cuales se pueda

⁵ Como ejemplo del ritmo se puede citar una secuencia de golpes de martillo dados de forma discreta y distanciada en el tiempo. Allí se puede observar el carácter metafórico del ritmo con la música.

⁶ En la representación formal que se expone a continuación se recurre a símbolos matemáticos estándar. No obstante, me he tomado la libertad de variar su significado con el fin de que expresen lo más fidedignamente posible la funcionalidad expuesta por la descripción filosófica. En cada caso que aplique, se realiza el comentario aclaratorio.

este concepto de asociación apropiativa del jeep no es viable bajo otro contexto.

implementar un programa computacional que emule características asociativas dadas en la *estructura de la memoria*. Para ello, se parte de la propuesta formal para representar el conocimiento, con el objeto de tener el sustrato para definir el operar de las estructuras asociativas. Con ello se modela la protoasociación y las asociaciones reproductivas e inductivas.

REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

Un modelo para representar⁷ el conocimiento requiere la definición de elementos y funciones *atómicas* requeridas en el acto asociativo. Se propone un modelo matemático para la impresión primaria, el grado de cumplimiento, la protención y la distancia como soporte a la representación del conocimiento.

La impresión primaria (Ip) denota un momento constitutivo en el cual se unifican de forma sintáctica (\cup_i^j) los datos hyléticos ($Dh_{(1 \rightarrow tt)}$). Se puede plantear:

$$Ip = \bigcup_{k=1}^{tt} Dh_k \quad (1)$$

Donde los tt datos hyléticos ($Dh_{(k)}$) se unifican para lograr una impresión primaria. En el instante *cero*, la impresión primaria se sintetiza en protoasociación dando lugar a un evento E'_0 ⁸. Ahora, E'_0 *constituido*, conforma E_0 , objeto de la estructura de la memoria, el cual por hundimiento en el tiempo, en el siguiente *instante* del flujo vivencial se convertirá en E_1 . A su vez, E_1 se hundirá y será E_2 , y así sucesivamente. La secuencia que compone la estructura de la memoria se puede denotar como una sucesión de eventos: $\ell = \{E_n, E_{n-1}, E_{n-2}, \dots, E_i, \dots, E_3, E_2, E_1\}$ ⁹, donde todo E_n fue el evento E_{n-1} en el instante anterior. Es necesario tener presente que cada evento E denota indirectamente un objeto *dado* en dicho evento. En el flujo ℓ , los eventos no necesariamente denotan objetos diferentes, puede ser el mismo objeto dado en la protoasociación, pero hundido en un instante del tiempo. El evento E_0 representa el evento en el *instante vivido*, en el presente, en el cual se está dando la Ip . Por su parte, un evento E_n se caracteriza por una relación protentiva con E_{n-1} y una relación retentiva con E_{n+1} .

El grado de cumplimiento (Gc) de una relación se define por el grado de similitud (Sl) protencional-retencional entre los eventos E_i , así:

$$Gc(E_i) = Sl(Pr(E_{i-1}), Rt(E_i)) \quad (2)$$

Donde $Pr(E_{i-1})$ es la protención del evento E en la posición $i - 1$. De forma análoga $Rt(E_i)$ es la retención del evento E_i . De la misma forma se puede definir la distancia (Dt) de un objeto con respecto al *instante vivido*, así:

⁷ La representación del conocimiento aquí expuesta no se funda en las descripciones fenomenológicas de Husserl. Su finalidad es la de servir de soporte a los modelos matemáticos sobre las estructuras asociativas.

⁸ Para efectos prácticos, en lugar de aludir explícitamente a un *objeto dado* en un *evento* en un *instante* x , se hará referencia al evento x de forma directa, sabiendo que todo evento “contiene y produce” un objeto x en la estructura de la memoria. Esto con el fin de simplificar el operar de un autómeta.

⁹ La notación en forma de lista simboliza un retículo de conceptos, ℓ , categoría a ser desarrollada a continuación.

$$Dt(E_n) = \sum_{i=0}^n R_g(E_{i+1} - E_i) \quad (3)$$

Donde la distancia de un objeto se define como la sumatoria de las distancias de los rangos entre eventos (R_g) que enlazan al evento n con la impresión primaria. La distancia no es una métrica regular (como por ejemplo una magnitud de la física newtoniana), se define como la cantidad de energía que se requiere para que un objeto de la estructura de la memoria alcance un lugar y desde un lugar x . Con las definiciones de los elementos atómicos se postula un modelo para la representación del conocimiento.

La representación del conocimiento se funda en el Análisis Formal de Conceptos (FCA)¹⁰ [5]. Técnicamente el FCA se basa en un conjunto de objetos (O), un conjunto de atributos (A) y una relación¹¹ (I) entre objetos y atributos ($I \subseteq O \times A$), denominada contexto formal:

$$\mathbb{C} = (O, A, I) \quad (4)$$

En un contexto formal el objeto O representa en un momento i al evento E_i , donde:

$$\mathbb{C}_i = (E_i, A, I) \quad (5)$$

\mathbb{C}_i denota el contexto del evento E_i en el instante i . Es de resaltar que a medida que más eventos van “añadiéndose” al flujo, el evento E_i se “modifica”, es decir, puede adquirir o eliminar propiedades de acuerdo con los atributos A comunes y afectados por la relación I . Esto indica que un evento no permanece inmutable en el tiempo, se va modificando dependiendo de los siguientes eventos impresionales. La relación I puede representar el valor¹² en el tiempo del objeto con el atributo. De ahí que la pertenencia de un atributo (A) a un evento no sea binaria (si/no), sino que se exprese en *grado* de pertenencia, de cero a uno¹³:

$$\mu_A: \mathbb{C} \rightarrow [0,1] \quad (6)$$

Ahora bien, como operación básica se encuentra la derivación, donde dado un conjunto de atributos ($At \subseteq A$) su derivada se define como:

$$At' = \{o \in O \mid \forall a \in At: (o, a) \in I\} \quad (7)$$

De forma análoga,

$$Ob' = \{a \in A \mid \forall o \in Ob: (o, a) \in I\} \quad (8)$$

¹⁰ *Formal Concept Analysis* (FCA). En adelante se citará como FCA. El FCA es un campo de la matemática aplicada cuyo objetivo es formalizar y estudiar las nociones de concepto, jerarquía, relaciones y atributos entre objetos. De esta forma se facilita el uso del razonamiento matemático para el análisis de datos conceptuales y procesamiento del “conocimiento” [1]. En resumen, se puede decir que el FCA permite modelar matemáticamente el “entendimiento” sobre un tópico particular que un agente posea. Por ejemplo, si se toma un dominio particular, la vida de *M. Heidegger*, ante la pregunta por la relación de éste con *Hannah Arendt*, dicha relación se puede formalizar por medio de una relación asociativa entre conceptos tipo FCA.

¹¹ Un conjunto de atributos se relaciona de forma gradual con sus objetos. En esta propuesta se asume relación entre A y O , sí y solo sí, existe un *valor* I entre ellos. Un valor es un número real que representa la magnitud entre ellos. Esto permite obtener más información sobre una relación entre objetos que la obtenida de forma binaria.

¹² Tómese por ejemplo el caso de que un objeto (O) sea “*filósofo*” y un atributo (A) sea “*idea sobre el mundo*”, entonces, la relación (I) puede ser “*La capa más física, más hylética de la experiencia subjetiva*”, pero después se conoce información adicional, por lo cual la relación (I) puede cambiar a “*La capa más física, más hylética de la experiencia subjetiva. El término Mundo-Uno es diferente al término Mundo de la Vida (Lebenswelt)*”.

¹³ Equiparado al rango porcentual [0% , 100%]; 0% indica ninguna afinidad y 100% indica afinidad total u *homogeneidad*.

hay de común entre eventos. Ello conforma la resonancia (Rs) de eventos en la distancia. Eventos con la misma resonancia entran en armonía. Los eventos *armónicos* conforman el flujo de eventos producto de la asociación reproductiva.

Sea $\ell(\mathbb{C})$ un retículo de conceptos, así:

$$\ell = \{E_n, E_{n-1}, E_{n-2}, \dots, E_i, \dots, E_3, E_2, E_1\} \quad (17)$$

ℓ se encuentra descrito por un conjunto de atributos R :

$$R = \{r_n, r_{n-1}, r_{n-2}, \dots, r_i, \dots, r_3, r_2, r_1\} \quad (18)$$

Cada objeto de ℓ se puede representar por un *tupla*¹⁷ *relacional* entre atributos y objetos denominada v ,

$$v = (v_{r_n}, v_{r_{n-1}}, \dots, v_{r_2}, v_{r_1}) \quad (19)$$

Donde v_{r_j} que pertenece al dominio del atributo D_{r_j} es el valor asociado al atributo r_j ($1 \leq j < n$). $E[r]$ denota el valor del atributo r del objeto E . Partiendo de la definición particular de conjuntos sobre el retículo maestro, la rítmica (Rm) sobre dos eventos se define como la consolidación ($\int_{i=1}^n$) de la afinidad entre los valores de los atributos:

$$Rm(E_x, E_y) = \int_{i=1}^n \int_{j=1}^m E[r_i] \# E[r_j] \quad (20)$$

La función ($\#$) denota el grado de afinidad entre los valores de los atributos de dos eventos. La rítmica *absoluta* ($Rmt(E'_0, \ell_n^m)$) se obtiene al comparar rítmicamente un evento (E_x) con un subconjunto de eventos ($E_i = \ell_n^m(i)$). Se puede definir como:

$$Rmt(E'_0, \ell_n^m) = \int_{i=n}^m Rm(\ell_n^m(i), E'_0) \quad (21)$$

Los eventos que poseen una rítmica “común”, es decir, su valoración se encuentran en un umbral común ($Umb_k^l()$) donde resuenan *similar* ($Rs(E_i,)$), conforman la “zona de manifestación”. La función umbral común ($Umb_k^l()$) retorna el objeto de un evento en caso de que esté dentro de los rangos del umbral. Los eventos, independiente de su tipo, se encuentran en armonía si cumplen un umbral común. Tomando en consideración lo anterior, la asociación reproductiva (A_r) se puede definir como:

$$A_r(E'_0, \ell_n^m) = \bigcup_{i=n}^m Rs(E_i, Umb_k^l(Rmt(E'_0, \ell_i^m))) \quad (22)$$

En la cual se establece el subconjunto de elementos del conjunto ℓ_n^m que se encuentran en resonancia (Rs) con E'_0 . Se hace necesario denotar que existen dos casos particulares de asociación reproductiva. Si la asociación reproductiva solo otorga un evento (E_k), se dice que la asociación es directa (A_{rd}):

$$A_{rd} = E_k \in A_r \wedge k = 1 \quad (23)$$

Si la asociación reproductiva otorga una cadena de más de un evento ($k > 1$), se dice que la asociación reproductiva es mediada (A_{rmd}):

$$A_{rmd} = \sum_{i=1}^k E_i \in A_r \wedge k > 1 \quad (24)$$

La asociación reproductiva (A_r) brinda un flujo de eventos que resuenan armónicamente y opera *hacia* el pasado. La asociación inductiva es su equivalente funcional, la cual opera *hacia* el futuro.

ASOCIACIÓN INDUCTIVA (A_i)

La asociación inductiva busca enlazar eventos o escenarios futuros que *no se han dado* $\{F_1, \dots, F_n\}$, tomando en consideración la impresión primaria y el flujo de eventos pasados $\{E'_0, \dots, E_n\}$. Cabe notar que en dicho *enlace* se produce una cadena donde sus elementos *no son contiguos*; los eventos futuros son *protendidos* por medio de la variación libre de elementos¹⁸ (Vle), donde se “crean” eventos futuros cuyo “enlace” con el presente es labor de la asociación inductiva. Al igual que en la asociación reproductiva, los eventos con la misma resonancia entran en armonía. El flujo de eventos “protendidos” está compuesto por los eventos futuros en resonancia armónica.

Sea $\ell(\mathbb{C})$ un retículo de los eventos pasados y sea $\ell_f(\mathbb{C})$ un retículo de conceptos compuesto por eventos futuros (F_i), donde:

$$\ell_f = \{F_1, F_2, F_3, \dots, F_i, \dots, F_{n-2}, F_{n-1}, F_n\} \quad (25)$$

ℓ_f se encuentra descrito por un conjunto de atributos R ,

$$R = \{r_n, r_{n-1}, r_{n-2}, \dots, r_i, \dots, r_3, r_2, r_1\} \quad (26)$$

Cada objeto de ℓ_f se puede representar por un *tupla relacional* entre atributos y objetos denominada v :

$$v = (v_{r_n}, v_{r_{n-1}}, \dots, v_{r_2}, v_{r_1}) \quad (27)$$

Donde $v_{r_j} \in D_{r_j}$ es el valor asociado al atributo r_j ($1 \leq j < n$) y D_{r_j} es el dominio del atributo r_j . $F[r]$ denota el valor del atributo r del objeto F .

La asociación inductiva parte de la conformación “*un siguiente evento futuro*”¹⁹ (F_p). Para ello se recurre a la variación libre de elementos (Vle), sobre un subconjunto de eventos pasados ℓ_n^m , y lo dado en la impresión primaria:

$$Vle(\ell_n^m, E'_0) \xrightarrow{\text{produce}} F_p \quad (28)$$

En este primer momento $\ell_f = \{F_1\}$. El siguiente elemento se obtiene de la unificación sintáctica ($U_{i=1}^p$) de la combinación de las variaciones de los elementos del flujo pasado y el subconjunto de elementos futuros:

$$F_{p+1} = \bigcup_{i=1}^p Vle(\ell_n^m, \ell_f(i)) \quad (29)$$

Con lo anterior se puede tener muchas versiones de flujos futuros:

$$\Psi_i = \{F_1, F_2, F_3, \dots, F_i, \dots, F_{n-2}, F_{n-1}, F_n\} \quad (30)$$

Donde Ψ_i denota la versión i del flujo futuro. Cada flujo (Ψ_i) está compuesto por el enlace protensional-retensional entre los eventos futuros, el cual conforma una “cadena” de eventos (Ψ_i) de “longitud” p ²⁰. Aunque todas las cadenas son válidas, la asociación reproductiva busca establecer cuales poseen

¹⁸ En cierta forma es un análogo a una función eminentemente humana, la fantasía, entendida como variación libre de la imaginación. En esta formalización se restringe dicha función a crear objetos mediante variaciones factibles con los elementos de los eventos ya constituidos.

¹⁹ Nótese que en la primera variación, F_p es igual F_1 .

²⁰ Se asume p como la cantidad de eventos futuros del flujo.

¹⁷ En este contexto, *tupla* se asume como un objeto matemático con estructura capaz de ser descompuestos en un número finito de componentes.

mayor *relevancia*. Para ello se recurre a elementos de la zona de manifestación, en particular a la rítmica, la resonancia y la armonía.

Cada cadena de eventos (Ψ_i) posee una rítmica, la cual permite su comparación. Se parte de la comparación rítmica entre dos eventos con el objeto de buscar la rítmica del flujo. La rítmica entre dos eventos futuros (Rmf) se define como la consolidación ($\int_{i=1}^n$) de la afinidad entre los valores de los atributos:

$$Rmf(F_x, F_y) = \int_{i=1}^n \int_{j=1}^m F[r_i] \ddagger F[r_j] \quad (31)$$

La función (\ddagger) denota el grado de afinidad entre los valores de los atributos de dos eventos. Con ello se puede definir la rítmica absoluta $Rmtf(i)$ de un conjunto de eventos futuros (Ψ_i) como:

$$Rmtf(i) = \int_{j=1}^p Rmf(\Psi_i(j), E'_0) \quad (32)$$

Los flujos que poseen una rítmica cuya valoración se encuentre en un umbral común con límites superior e inferior (k) conforman la “zona de manifestación”. La función umbral para flujos futuros ($Umbf_k^l$) retorna el flujo en caso de que esté dentro de su rango. Tomando en consideración lo anterior, la asociación inductiva se puede definir como:

$$A_i(E'_0) = \bigcup_{i=1}^m Umbf_k^l(Rmtf(i)) \quad (33)$$

La asociación inductiva (A_i) produce un conjunto de flujos Ψ_i armónicos y relevantes. La asociación inductiva es una poderosa herramienta que permite disponer de varias predicciones válidas o escenarios *probables* futuros. Dependiendo del uso del flujo, se pueden aplicar funciones probabilísticas para determinar, según las circunstancias, cuál es el mejor.

III. ARQUITECTURA COMPUTACIONAL

La descripción filosófica de la asociación brinda pautas para proponer modelos computacionales novedosos, en particular, contribuir a nuevos algoritmos de minería de datos y aprendizaje de máquinas. Representar en un sistema computacional la estructura de memoria descrita, requiere de tres componentes (Fig. 3): procesamiento de lenguaje natural (LEN), sistema de aprendizaje y razonamiento (SAR), y la representación del conocimiento (REC). En una descripción general se puede decir que el sistema estructura los datos de ingreso (LEN) para realizar minería de datos (data mining) y el aprendizaje de máquinas (machine learning) con algoritmos basados en la formalización de los procesos de asociación (SAR). Recurre a una representación de conocimiento (REC) para su operación. Según la formulación matemática expuesta, (REC) solo actúa como repositorio dinámico de los procesos sobre el *flujo* de datos que ingresan y son procesados por los algoritmos de las asociaciones reproductivas e inductivas, que, en últimas, realizan la minería de datos y el aprendizaje de máquinas de forma integrada.

Un sistema así podría ser capaz de interpretar cualquier información digital representada en texto y analizarla

sintáctica y semánticamente. Con ello se establecen modelos no obvios y se puede producir análisis holístico del texto: resúmenes analíticos, mapas conceptuales, glosarios, enciclopedias, etc.



Figura 3. Meta-arquitectura computacional que sirva de la descripción filosófica de la estructura de la memoria.

Desde el punto de vista técnico-operativo, el objetivo es la extracción automática de información predictiva (Asociación inductiva–A_i) “oculta” en los datos de entrada, por medio de métodos y algoritmos automatizados sobre un flujo que modela los datos de ingreso de forma dinámica. Para validar los conceptos expuestos, se desarrollaron e implementaron algoritmos en un sistema denominado *Research Support System (RS2)*²¹. RS2 realiza *aprendizaje* de libros representados en archivos texto²², permitiendo obtener relaciones *no obvias* entre conceptos.

RS2 trata un libro análogamente a la estructura de memoria descrita, es decir, lo trata como un flujo de eventos donde cada evento es un párrafo del libro que se encuentra interrelacionado con el predecesor y su antecesor. Así pues, un concepto que aparece en una determinada página es, para RS2, *el mismo* si aparece en otra página posterior; RS2 da cuenta de ello, y reconoce la *historia* (ecuación de distancia (3)) y las *relaciones asociativas* de dicho término.

RS2 implementa el módulo LEN en el lenguaje de programación *Python*, recurriendo, y en algunos casos ajustando, las librerías GNU denominadas NLTK²³. Se recurre a desarrollos propios en lenguajes como *Java* y *Python* para implementar SAR, en particular, las ecuaciones asociativas (16) (23) (22) (33). Usa bases de datos relacionales y distribuidas para implementar el modelo ontológico planteado en FCA, según la ecuación (11).

RS2 ha probado la efectividad en el aprendizaje y el análisis de la información, mostrando nubes de palabras y estructuras de listas de conceptos asociados sobre términos arbitrarios, en contextos no estadísticos. RS2 ha asociado de una a cinco palabras para el 46.3% de los vocablos pertenecientes a un texto; cinco a diez palabra, para el 12.3%; diez a veinte palabras para el 6.5%. Es decir, para el 65.1% de palabras que conforman el universo de un texto²⁴ el sistema ha podido asociar contextualizadamente más de una palabra o vocablo (Fig. 4).

²¹ Investigación en desarro disponible en el sitio Web <http://knowledge-doer.rhcloud.com/>. El detalle de los algoritmos no es público y está protegido por derechos de autor.

²² Extensión *.txt*, con codificación UTF-8 o LATIN.

²³ Natural Language Tool Kit, disponible en <http://www.nltk.org/>.

²⁴ Las pruebas se han realizado en textos en Ingles y en Español, realizando análisis gramatical (módulo LAN) mediante algoritmos HMM y Bi-GRAMM tags. En el universo de palabras no se han tomado en cuenta las palabras que pertenecen a las denominadas en el procesamiento de lenguaje natural como *stopwords* (palabras vacías).

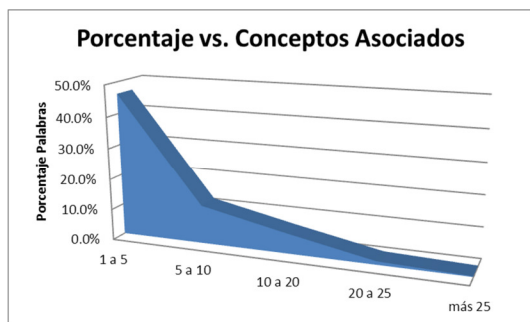


Figura 4. Cantidad de palabras asociadas (eje X) respecto al porcentaje total (universo de palabras) del libro.

RS2 asume un libro como un flujo de párrafos interrelacionados, por ello su aprendizaje se basa en el tratamiento *protentivo-retentivo* de cada párrafo aprendido. Se ha comprobado que, después de *aprender* el 10% del libro, es capaz de asociar el 38.1% del total de las palabras significativas del libro (Fig. 5).

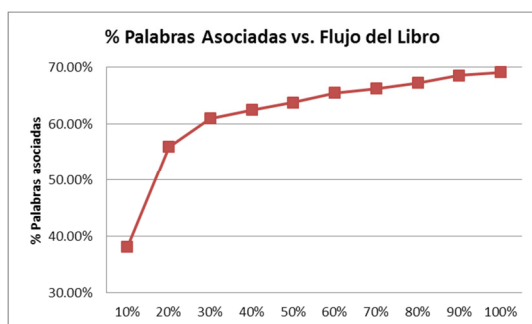


Figura 5. Porcentaje de palabras efectivamente asociadas en comparación con el avance de aprendizaje en el flujo del libro (eje X).

A medida que avanza el aprendizaje, al llegar al 50% del libro, RS2 asocia hasta el 63.8% de los conceptos aprendidos, logrando un promedio de asociación de 65.5% al llegar al 60% del *flujo* de párrafos. La tasa máxima de asociación está en 69.10%. Es de notar que la ecuación (3) representa un elemento muy importante para la asignación relevante de conceptos asociativos, al permitir al SAR valorar la *historia* o la *antigüedad* de un concepto respecto al otro y respecto al final del texto, que se toma como el *instante vivido* (Fig. 1).

IV. CONCLUSIÓN

Los actos asociativos dados a nivel pre-consciente relacionan las diversas experiencias que un ser humano constituye. Las experiencias constituidas conforman un flujo denominado estructura de la memoria [8]. Asociar, desde el punto de vista filosófico, es un proceso rico en elementos como la semejanza, la uniformidad, la contigüidad, el contraste, la diferencia, la resonancia, la armonía y el ritmo entre otros, los cuales posibilitan la generación de enlaces y redes conceptuales *multidimensionales*, susceptibles de ser formalizadas por medio del FCA. A pesar de su complejidad, las descripciones fenomenológicas de la estructura asociativa pueden ser modeladas computacionalmente y aprovechadas para la minería de datos y el aprendizaje de máquinas.

Las descripciones sobre las síntesis asociativas se constituyen en una fuente invaluable de nuevos paradigmas computacionales para el procesamiento de la información.

La minería de datos y el aprendizaje de máquinas, como áreas de estudio dentro de la denominada Inteligencia Artificial (IA), basan su operar en la concepción de memoria como un repositorio estático de elementos interconectados. La estructura asociativa de la memoria expuesta muestra un enfoque alterno para la solución de problemas clásicos en los cuales la ambigüedad y falta de contexto son un factor relevante. La interconexión asociativa como relación secuencial entre objetos y su estudio como un *flujo*, forman un concepto radical y diferente al enfoque para el análisis de información basado en métodos estadísticos.

REFERENCIAS

- [1] Aranda, G. Tratamiento de la semántica emergente mediante sistemas de agentes basados en conocimiento. Sevilla: Universidad de Sevilla, 2011.
- [2] Biceaga, V. The concept of passivity in Husserl's Phenomenology. Dordrecht; Heidelberg; London; New York: Springer, 2010.
- [3] Borges, J. L. Ficciones. Buenos Aires: Emecé, 1994.
- [4] Drummond, J. Historical dictionary of HUSSERL'S Philosophy. New York: Scarecrow Press, 2007.
- [5] Ganter, B., & Wille, R. Formal concept analysis: Mathematical foundations. Berlin-Heidelberg: Springer, 1999.
- [6] Husserl, E. Experience and Judgement. Investigations in a Genealogy of Logic. London: Routledge, 1973
- [7] Husserl, E. Analysen zur passiven Synthesis. Aus Vorlesungs- und Forschungs manuskripten, 1918-1926. The Hague, Netherlands: Martinus Nijhoff. [v.i. Analyses Concerning Passive and Active Synthesis: Lectures on Transcendental Logic. Trad. Steinbock, A. 2001], 1966.
- [8] Husserl, E. Zur Phänomenologie der Intersubjektivität. Texte aus dem Nachlass. The Hague, Netherlands: Martinus Nijhoff, 1973.
- [9] Husserl, E. Phänomenologie der anschaulichen Vergegenwärtigungen. Texte aus dem Nachlass (1898-1925). The Hague, Netherlands: Martinus Nijhoff, 1980.
- [10] Reeder, H. La praxis fenomenológica de Husserl. (G. Vargas Guillén, Trad.) Bogotá: San Pablo, 2011.
- [11] Rincón, J. C. Asociación y Síntesis Pasiva. La asociación como principio de la síntesis pasiva en la unificación sintética y estructurada del contenido intencional de una multiplicidad experiencial. Bogotá: UPN, 2013.
- [12] Rincón, J. C. Memoria y Tiempo. Descripción fenomenológica de la estructura de la memoria y su relación con la conciencia interna del tiempo. Bogotá: UPN, 2014.
- [13] Simon, H. Las ciencias de lo artificial. Granada: Comares, 2006.
- [14] Vargas, G., & Florez, J. De la «Informática Educativa» a la «Pedagogía Computacional». (De J. PIAGET & S. PAPERT a A. NEWELL & H.A. SIMON). Seminario Maestros Gestores de Nuevos Caminos (pág. 73). Bogotá: Corporación penca de sábila, 1999.



Juan Carlos Rincón Acuña recibió su título en Ingeniería de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander (UIS) con distinción *Cum Laude*. Es especialista en Telecomunicaciones (UNAB) y gerencia de proyectos (U: Javeriana / U. de la Sabana / Project Management Institute - USA). Doctorando investigador del énfasis filosofía y enseñanza de la filosofía de la UPN (2005-2014) bajo la dirección del profesor Dr. Germán Vargas Guillén. Su área de investigación busca aplicar teorías de la mente desde la Filosofía a la computación cognitiva, particularmente al aprendizaje de máquinas. Actual beneficiario del crédito educativo condonable "Apoyo a la Comunidad Científica Nacional, a través de los Programas de Doctorado Nacionales" según convenio No. 567/2012 de Colciencias. Correo electrónico jrcincom@gmail.com.