Revista Española de Lingüística

SOBRE ÁLGEBRA Y SINTAXIS

Román Orús[1] y Juan Uriagereka[2]
Ikerbasque Research Professor at DIPC / University of Maryland

Resumen

«Matrix syntax» es un modelo formal de relaciones sintácticas en el lenguaje. La estructura matemática resultante se asemeja a algunos aspectos de la mecánica cuántica. «Matrix syntax» nos permite describir una serie de fenómenos del lenguaje que de otro modo serían muy difíciles de explicar, como las cadenas lingüísticas, y podría decirse que es una teoría del lenguaje más económica que la mayoría de las teorías propuestas en el contexto del programa minimalista en lingüística. En particular, las oraciones se modelan de manera natural como vectores en un espacio de Hilbert con una estructura de producto tensorial, construida a partir de matrices de 2x2.

Palabras clave: cadena; matriz; álgebra lineal; vector; espacio de Hilbert.

ON ALGEBRA AND SYNTAX

Abstract

Matrix syntax is a formal model of syntactic relations in language. The resulting mathematical structure resembles some aspects of quantum mechanics. Matrix syntax allows us to describe a number of language phenomena that are otherwise very difficult to explain, such as linguistic chains, and is arguably a more economical theory of language than most of the theories proposed in the context of the minimalist program in linguistics. In particular, sentences are naturally modeled as vectors in a Hilbert space with a tensor product structure, built from 2x2 matrices.

Keywords: chain; syntax; matrix; linear algebra; vector; Hilbert space.

Recibido: 28/07/2019 Aprobado: 04/11/2019

1. INTRODUCCIÓN

En esta sociedad que nos hemos construido, tan eficaz, hemos hiperespecializado el conocimiento. Uno estudia una carrera, después se especializa en algo aún

1. roman.orus@dipc.org; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-4496-8115
2. juan@umd.edu; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-9194-3626

DOI: https://doi.org/10.31810/RSEL.51.2.5
RSEL 51/2 · 2021 · pp. 79-92 · ISSN 0210-1874 · e-ISSN 2254-8769

más concreto, y a tirar millas. Aunque la especialización nos ha llevado lejos, las mejores ideas suelen venir del pensamiento transversal, interdisciplinar, y de asistir (¿por qué no?) a las «charlas prohibidas». Einstein nunca habría descrito el efecto fotoeléctrico de haber pensado como los demás. A las aventuras, respeto, no miedo.

¿Qué tiene que pasar para que lingüistas y físicos trabajen juntos? Estas dos disciplinas no pueden estar más alejadas entre sí. Por una parte, la física, con su aproximacion matematica a la explicación de la naturaleza y su riguroso método científico; por otra, la lingüística, una de las ciencias sociales, basada en razonamientos que rozan lo filosófico. Pareciera que no hay terreno en común... y nada más lejos de la realidad.

Para que físicos y lingüistas se pongan a pensar juntos, lo que hace falta es pasión y curiosidad. Algo así nos sucedió a nosotros. Por esta colaboración, hemos propuesto una teoría para tratar un problema hasta ahora solo descrito: las correlaciones de largo alcance en el lenguaje. Usa –lo que son las cosas– un formalismo similar al de la física cuántica, fundamentado en álgebra lineal. Lo llamamos *Matrix Syntax*.

El lenguaje es el universo por estudiar en lingüística, para el que Noam Chomsky propuso un acercamiento riguroso en los años cincuenta. Chomsky tiene un papel similar al de Galileo en la física clásica, al centrarse de manera rigurosa en lo que hay. Esos tres siglos de diferencia en la transición al cientificismo son útiles para ambos campos. Los lingüistas pueden aprender de métodos y propuestas desarrollados por los físicos durante ese periodo. Y a los físicos tampoco les va mal recordar por qué trabajan de la manera que lo hacen, preguntándose qué pueden querer decir las posibles convergencias.

Nuestro objetivo aquí es explicar las bases de *Matrix Syntax* (en adelante MS) en un lenguaje coloquial. El desarrollo de nuestras ideas es matemático, y solo con esa expression formal se puede apreciar en profundidad. Entendemos que alguno acaso no disponga de tal bagaje técnico (¡cuánto daño hace la separación entre «ciencias» y «letras»!). Es por ello por lo que intentaremos explicar las bases de nuestra propuesta un poco «con las manos», a modo de artículo de ciencia popular. Que nos disculpen los especialistas…

2. LA IDEA DE *MATRIX SYNTAX*

MS utiliza aspectos de álgebra lineal, teoría de grupos y teoría de operadores para describir determinadas situaciones en sintaxis. El modelo resultante es similar en varios aspectos matemáticos a la física cuántica, y funciona tanto en la descripción de las correlaciones de largo alcance, como en coocurrencias dentro del lenguaje.

MS tiene dos motivaciones: una, desde el punto de vista de la física; y otra, desde la lingüística generativa. La motivación física es sencilla: el formalismo resultante es similar a algunos aspectos formales de la mecánica cuántica, lo que no deja de ser sorprendente. Solo por ello, MS merece ya ser considerada y estudiada con detalle. Desde la perspectiva del lenguaje, la motivación de MS es el deseo de entender las llamadas «cadenas», tal y como suceden, por ejemplo, en la oración 1(a):

(1) a. Alicia parece adorar a Roberto.
    b. Alicia adora a Roberto

De algun modo, Alicia en (1a) es quien experimenta adoración por Roberto; curiosamente, de modo parecido a como sucede en (1b). Al mismo tiempo, Alicia en (1a) es tambien el sujeto de la oración principal, basada en el verbo *parecer*. O sea: aparte de ser quien adora a Roberto, Alicia en (1a) *parece algo*. Formalmente, en (1a) podemos considerar que el nombre *Alicia* está en dos posiciones de sujeto diferentes: desde un punto de vista semántico, está asociado a *adorar*; mientras que desde un punto de vista sintáctico, está asociado a *parece*. Sin embargo, *Alicia* solo se «externaliza» en una de estas dos alternativas: no decimos que **Alicia parece Alicia adorar a Roberto*, por lo que señalamos la secuencia con un asterisco de inaceptabilidad. Esa relación, en la que *Alicia* está formalmente en dos posiciones, pero se «colapsa» en una sola al externalizar, es la llamada «cadena».

¿Cómo sucede este interesante fenómeno, y qué quiere decir desde un punto de vista estructural e interpretativo? ¿Cómo puede el mismo elemento (aquí *Alicia*) ocupar dos posiciones diferentes? Y si por alguna razón puede obedecer a algún mecanismo de copiado, digamos, ¿por qué la copia ha de desaparecer, en vez de pronunciarse o interpretarse varias veces? Estamos ante un problema profundo y abierto.

La intuición de cómo el álgebra lineal ayuda a entender las llamadas cadenas proviene de la física cuántica. En una cadena como la de (1a), el elemento *Alicia* parece ocupar, formalmente, dos espacios a la vez a nivel mental, pese a solo materializarse en uno. En mecánica cuántica, este tipo de situaciones son comunes: una partícula subatómica puede estar en un estado cuántico que se corresponde con posiciones diferentes a la vez, siempre y cuando no se la observe. Al observar (es decir, *medir* su posición), el estado de la partícula *colapsa* y solo surge en una posición concreta. Pero su trayectoria y otras propiedades físicas son, hasta el momento de la medida, compatibles con la superposición de posiciones simultáneas, y es así como deben tratarse matemáticamente.

Si suena a magia negra, no se apuren: la mecánica cuántica es algo que físicos y filósofos llevan más de un siglo intentando entender, y sobre lo que aún no se han puesto de acuerdo. Eso sí, ninguna ciencia experimental ha logrado ni resultados más exactos ni predicciones más sorprendentes, aunque no logremos precisar las razones de que el universo funcione de ese modo, a esa escala. El pasmo nos sacude al nivel clásico en que vivimos, donde los seres existen en coordenadas únicas y sin manifestarse de modo plural y distribuido, como los electrones. En ese sentido, el mensaje con el que nos hemos de quedar es que ambas situaciones –las que estudian relaciones entre partículas y las que estudian relaciones entre palabras– parecen presentar algunos comportamientos análogos. Curiosamente, claro.

Si uno se empeña en que la mente, o para el caso el cerebro, ha de funcionar con la estática rigidez cartesiana de la mecánica clásica, lo que decimos no tiene sentido. Ahora bien, nadie tiene la menor idea de si pensar, empezando por el lenguaje, es un proceso mecánico, y si lo fuese (lo que viene a querer decir pensar *computacionalmente*), si la mecánica presupuesta es clásica. Si alguien tiene escrúpulos iniciales, que nos explique en qué se basan, especialmente cuando sabemos que un procedimiento computacional se puede expresar de modo clásico (basado en la arquitectura de Alan Turing) o de modo cuántico (desarrollando las ideas de Richard Feynman).

De hecho, el gran reto de la computación de la siguiente generación no deja de ser cuántico, entre otras cosas por esa equivalencia a la que hacemos referencia, refrendada además por la increíble eficiencia del ordenador cuántico al compararlo con el clásico. Es por ello que no solo parece razonable tratar el problema de las cadenas con armas matemáticas similares a las que usa la física cuántica (espacios vectoriales y álgebra lineal), sino que significa además estar al día en lo que se nos avecina, que resulta, cuando menos, interesante e instructivo.

3. VECTORES

En MS, describiremos los elementos de una oración (o las oraciones enteras, en sí), mediante un objeto matemático llamado *vector*. La intuición detrás de un vector es, de hecho, muy simple: una flecha de cierto tamaño que apunta hacia alguna parte, como indica la Figura 1.

Figura 1. Un vector

Al ser el vector algo que se puede representar geométricamente por una flecha, tiene tres elementos:

(i) Magnitud (longitud de la flecha)
(ii) Dirección (ángulo en el que apunta)
(iii) Sentido (señala en un sentido o el opuesto).

El mundo de los vectores se llama *espacio vectorial*, la construcción matemática que alberga vectores. Por ejemplo, el llamado «espacio R^3» es el tridimensional en que nos movemos a diario, donde los vectores tienen eso: tres dimensiones.

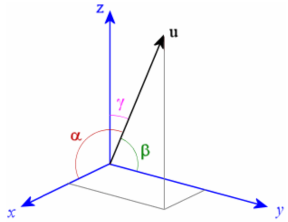

Figura 2. Un vector en tres dimensiones

En la Figura 2, el vector *u* vive en un espacio que se define a partir de los tres ejes de coordenadas *x*, *y* y *z*, para sus dimensiones. Noten que en la figura se resalta el ángulo que forma el vector con los ejes, describiendo así la dirección del vector.

Muchas magnitudes físicas se representan como vectores: la velocidad, la aceleración, la fuerza, el campo eléctrico, el magnético… y también los estados de los sistemas cuánticos. En el caso de estos, al espacio vectorial en el que viven se denomina «espacio de Hilbert», en honor al matemático David Hilbert. Dicho todo esto, podemos llegar a niveles de abstracción superiores. Por ejemplo: ¿podríamos tener un vector en más de tres dimensiones? Matemáticamente, desde luego: se puede definir un vector en cualquier numero de dimensiones. Gráficamente solo nos podemos imaginar hasta tres, porque nosotros vivimos solo en esas tres dimensiones, pero formalmente podemos generalizar la definición. A modo de ejemplo, en relatividad se usan los llamados «cuadrivectores» en cuatro dimensiones, que viven en el llamado «espacio de Minkowski» (en honor a otro gran matemático, Hermann Minkowski). Y en física cuántica podemos tener vectores en espacios de dimensión arbitraria:

un ordenador cuántico de 10 qubits (siendo el «qubit» el análogo cuántico del «bit» clásico) vive en un espacio de dimension 2^10 = 1024. Casi nada.

4. MATRICES

Para poder entender lo que son los vectores en el contexto de MS, primero hemos de hablar de otro tipo de objeto matemático: las *matrices*. La definición mundana de matriz es también muy sencilla: una tabla de números, como las que se hacen en Excel. O como el tres en raya, por ejemplo, véase la Figura 3.

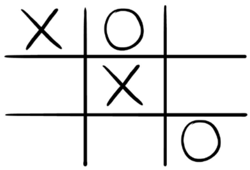

Figura 3. El tres en raya, una matriz

Y algo como la Figura 4, también, claro.

$$\begin{pmatrix} 1 & 5 & 0 & 1 \\ 2 & 8 & 3 & 2 \\ 0 & 4 & 2 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Figura 4. Matriz de números

Como ya se habrán imaginado, los elementos de una matriz se describen igual que en el juego hundir la flota, es decir, diciendo a qué fila y a qué columna corresponde «cada barco».

Igual que un cuchillo corta o una cuerda ata —en ambos casos, objetos de características relevantes—, podríamos entender estas colecciones de números como instrucciones para que la matriz «haga algo» sobre los objetos vectoriales en el espacio donde operan. Y esto es exactamente lo que sucede. Por ejemplo, hay unas matrices llamadas «SO(2)» que codifican la rotación de un plano. Es decir, que cuando hago uso de esas matrices, al plano (y a los vectores que viven en él) le pasa algo como lo que ilustra la Figura 5.

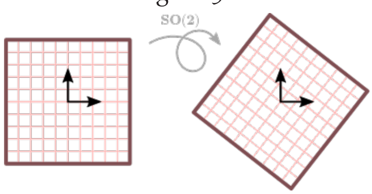

Figura 5. El plano, dando vueltas

Un conjunto de matrices muy importante en nuestra construcción son las llamadas «matrices de Pauli», en honor al físico Wolfgang Pauli, representadas en la Figura 6.

$$X = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \quad Y = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix} \quad Z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$I = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Figura 6. Matrices de Pauli

Las matrices de Pauli son matrices 2x2, o sea, tienen dos filas y dos columnas. En la matriz *Y* aparece el número «*i*». Este número es la unidad imaginaria, la raíz cuadrada de -1: $i^2 = -1$

Los números imaginarios son tan comunes en matemáticas y física como las comas y los puntos en los textos; hoy en día no podemos entender el mundo sin ellos. Finalmente, otra matriz importante es la llamada «identidad», que es intuitivamente parecida a las matrices de Pauli, algo así como la imagen especular de *X*.

Ya se pueden ustedes imaginar que, si llamamos *Matrix Syntax* a nuestra construcción, es porque algo tendrá que ver con matrices como estas. Pero antes de contarles en qué consiste, es necesario un paso más…

5. LAS MATRICES *TAMBIÉN* PUEDEN SER VECTORES

Hemos visto que un vector es algo que tiene magnitud, dirección y sentido. Tomando el ejemplo de la Figura 2, vemos que, de hecho, podemos describir al vector dando sus proyecciones (algo así como su «sombra») en los tres ejes de coordenadas, como ilustra la Figura 7

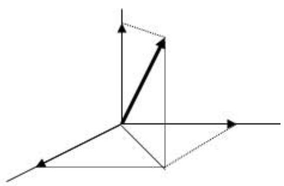

Figura 7. Vector descrito por sus proyecciones en los ejes

La condición que han de cumplir los ejes es que sean *perpendiculares* entre ellos. Y ahora la pregunta clave: ¿nos podemos inventar una «condición de perpendicularidad» y, sobre ella, definir objetos matemáticos que formen «ejes»? Una vez nos damos cuenta de esto, podemos definir espacios vectoriales: deme usted una condición de perpendicularidad para lo que sea, y yo le monto un espacio vectorial abstracto. No me lo podré imaginar intuitivamente, pero será matemáticamente correcto.

Y ahí es donde vuelven a entrar las matrices: resulta que las citadas matrices I (identidad), X, Y y Z (matrices de Pauli) satisfacen una determinada relación de perpendicularidad. Aquí no queremos entrar en los detalles técnicos, pero lo importante es la siguiente idea: las cuatro matrices I, X, Y, y Z, se pueden entender como los cuatro ejes de un espacio vectorial de dimensión 4. Y en ese espacio vectorial, los vectores, de hecho, son matrices. Las matrices siguen siendo matrices, pero desde un punto de vista abstracto, también las podemos entender como vectores.

Ahora: ¿qué tiene que ver todo esto con el lenguaje?

6. LOS AXIOMAS DE MS

MS se basa en una docena de axiomas, a partir de los cuales todo se deriva simplemente de la construcción matemática, siguiendo las reglas del álgebra lineal. Nuestro objetivo aquí no es ver todos los axiomas en detalle. En lugar de eso, vamos a hacer un *teaser* de los aspectos más importantes, en dos versiones: la formal y la «de andar por casa»…

Axioma 1
- para expertos: los atributos léxicos son N = 1 y V = i.
- para profanos: lo «nominal» se representa por el numero 1, y lo «verbal», por el número imaginario «i».

Lo que hemos hecho ha sido «matematizar los atributos léxicos que subyacen a las categorías gramaticales (nombre, verbo, adjetivo, preposición): nada especial, por ahora, más allá de la idea clásica en gramática de que lo nominal y lo verbal son conceptos totalmente diferentes, de hecho, tan diferentes conceptualmente como seamos capaces de imaginar. El segundo axioma va un poco más allá:

$$\text{Nombre} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -i \end{pmatrix} \quad \text{Verbo} = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & i \end{pmatrix} \quad \text{Adjetivo} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{pmatrix} \quad \text{Preposición} = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -i \end{pmatrix}.$$

Axioma 2
- para expertos: las categorias léxicas equivalen a las matrices.
- para profanos: las categorias léxicas principales (nombre, verbo, adjetivo y preposición) se representan como cuatro matrices concretas.

¿De dónde salen esas cuatro matrices? En 1974, en un curso de verano de la Linguistic Society of America, en Amherst, Chomsky propuso que las categorías

$$\text{Nombre} = \begin{pmatrix} +N \\ -V \end{pmatrix} \quad \text{Verbo} = \begin{pmatrix} -N \\ +V \end{pmatrix} \quad \text{Adjetivo} = \begin{pmatrix} +N \\ +V \end{pmatrix} \quad \text{Preposición} = \begin{pmatrix} -N \\ -V \end{pmatrix}.$$

léxicas pueden representarse como listas de atributos, de manera similar a como se hace en fonética con los sonidos (+nasal, -alveolar, etc.). Planteó la siguiente representación:

Aquí N y V son los atributos léxicos para una dimensión nominal pura (N) y verbal pura (V). En nuestra opinión, de algún modo Chomsky estaba intuyendo

$$\text{Nombre} = \begin{pmatrix} +1 \\ -i \end{pmatrix} \quad \text{Verbo} = \begin{pmatrix} -1 \\ +i \end{pmatrix} \quad \text{Adjetivo} = \begin{pmatrix} +1 \\ +i \end{pmatrix} \quad \text{Preposición} = \begin{pmatrix} -1 \\ -i \end{pmatrix}.$$

que las categorías léxicas forman una especie de espacio vectorial. MS se toma esta representación muy en serio: el Axioma 1 transforma las categorías léxicas en auténticos vectores:

Es decir, las transforma en matrices 2x1. Y el Axioma 2 coloca los elementos en la diagonal de la matriz, transformando las categorías léxicas en matrices 2x2. A estas cuatro matrices 2x2 las llamamos, por razones obvias, *matrices de Chomsky*. Tienen la importante propiedad de que se pueden obtener a partir de combinaciones lineales (sumas y restas con prefactores) de las matrices de Pauli, por lo que forman también una base del mismo espacio vectorial de matrices.

Para que no perdamos el hilo: estamos haciendo todo esto porque, al final, las reglas del álgebra de matrices nos darán el andamio lingüístico que precisamos, sin tener que añadir casi nada extra. Tan solo describimos el objeto matemáticamente, y el resto se sucede como consecuencia del álgebra. Y lo más bonito: creemos que funciona.

Los Axiomas del 3 al 7 tienen que ver con qué operaciones matemáticas se corresponden con qué operaciones lingüísticas. Así, lo que los lingüistas llamán *MERGE* ('ensamble') se corresponde o bien con una operación matemática llamada «producto de matrices» (para el primer tipo de *MERGE* en una derivación sintáctica), o bien con otra llamada «producto tensorial» (para otros tipos de *MERGE* dentro de la derivación sintáctica). Combinando elementos lingüísticos mediante estas operaciones, obtenemos oraciones, que se representan matemáticamente como matrices, y que son el resultado de las operaciones mismas. A su vez, estas matrices se entienden como vectores abstractos, en un espacio vectorial de matrices, tal y como ya dijimos.

La «etiqueta» de una oración o sus constituyentes (es decir, el tipo de parte de la oración que es) se corresponde con una propiedad de las matrices llamada el «determinante», que viene a ser el carnet de identidad de cada matriz, lo que la diferencia de otras. No entraremos en más detalles sobre estos axiomas, que son puramente técnicos. Simplemente diremos que son como una especie de diccionario que traslada las operaciones lingüísticas a operaciones matemáticas, en el espacio vectorial que hemos construido para describir las categorias léxicas y lo que se puede construir con ellas.

El Axioma 8 resuelve parte del dilema inicial que plantean las cadenas:

Axioma 8

- para expertos: las cadenas lingüísticas son superposiciones de vectores en el espacio de Hilbert.
- para profanos: las cadenas lingüísticas, en donde un objeto parece estar en dos sitios a la vez (como Alicia en la frase (1a)), son una «suma» de las dos posibilidades.

El hecho de que hayamos descrito las categorias léxicas mediante vectores hace que podamos usar sumas de vectores para describir nuevos vectores. Esta operación está bien definida matemáticamente, y aquí es lo que hace falta para poder describir las sorprendentes cadenas lingüísticas. De hecho, es la descripción matemática análoga a la del «electrón en dos posiciones a la vez» que hacíamos al principio del artículo.

En resumen: si algo parece que está en dos sitios a la vez, la descripción matemática natural es con sumas de los vectores relevantes.

Finalmente, el Axioma 9 nos dice qué pasa cuando el «estado mental» de la cadena se externaliza; es decir, cuando lo sacamos «de nuestra cabeza al mundo», o si se prefiere (desde una perspectiva más filosófica), cuando lo «interpretamos»:

Axioma 9

- para expertos: cuando una cadena se manda a una interfaz, su vector se proyecta en una de las opciones posibles.
- para profanos: al pronunciar la cadena, estoy forzado a pronunciar e interpretar una de las opciones posibles.

Volvamos al ejemplo de la frase (1a), *Alicia parece adorar a Roberto*. El estado de la cadena, previo a la externalizacion, es *[Alicia] parece [Alicia] adorar a Roberto* (lo cual, como tal, no es una oración gramatical de ninguna lengua). Las dos opciones de externalización están claras. O bien *Alicia parece adorar a*

Roberto, o bien *parece Alicia adorar a Roberto*. Decimos una o la otra, pero nunca la construcción mental original, con dos copias de *Alicia*, una en la oración principal y otra en la subordinada. Este fenómeno es análogo, en el formalismo matemático de MS, a un proceso de medida en física cuántica: un electrón puede estar en un estado suma de dos posiciones distintas, pero al medir, observamos solo una.

En el lenguaje, la externalización o interpretación del concepto mental es como el proceso de medida: lo que sea que maquina la mente, lo interpretamos, y en ese acto lo transformamos en información clásica que puede ser extenalizada. El modo en que esto sucede, la probabilidad con que sucede cada una de las opciones de una cadena, o incluso si esto es realmente lo que sucede, es un problema abierto que da para mucho debate e investigación (tanto práctica como matemática).

Llegados a este punto, podríamos darnos por satisfechos. El problema original de las cadenas parece que se resuelve de manera natural, tomándose en serio algunas consideraciones de Chomsky y matematizándolas a través de nociones conocidas, llevándonos de manera sorprendente a analogías con la física cuántica. Puede parecer complicado, pero no deja de ser sencillo: álgebra de primero de carrera. Así que tampoco hemos tenido que hacer un castillo matemático nuevo para describir esas cadenas...

La sorpresa surge al tirar de la manta. La pregunta es la siguiente: y una vez tenemos esto, ¿qué más podemos derivar? Pues resulta que mucho más que la mera solución al problema de las cadenas. Estas han sido la motivación original para encontrar una construcción matemática del lenguaje que, no solo es bella en sí misma, sino que además tiene poder predictivo. Pero aspectos tales como la distribución fundamental entre núcleos léxicos y sus complementos, el que las asociaciones con no-complementos (especificadores) sean siempre sintagmas nominales, la concordancia, el caso gramatical (eso que diferencia *yo*, *me*, *mí*, y *conmigo*), o las divergencias entre cadenas en construcciones, por ejemplo, pasivas y oraciones de relativo, etc., surgen a partir de consideraciones puramente matemáticas. Hasta ahora los lingüistas se toman este tipo de propiedades como axiomáticas; para nosotros son, esencialmente, teoremas del sistema.

Por si eso fuera poco, la analogía natural que surge (¡sin buscarla!) con la física cuántica es, cuando menos, intrigante, y merece ser considerada. ¿Estamos ante los resquicios lingüísticos de un proceso cuántico del cerebro? A estas alturas, no podemos sino hacer conjeturas al respecto, pero el tema da para pensar, y en términos rigurosos y testables. Al lector interesado en los detalles, le remitimos a Orús, Martin y Uriagereka (en revisión).

7. ¿HACIA DÓNDE VAMOS?

Nosotros entendemos MS como una prueba de concepto. Es un modelo de las cadenas lingüísticas, que resulta ir mucho más allá. Como tal, es matemático, pero al mismo tiempo (creemos) más sencillo que los modelos propuestos anteriormente, y posee mayor poder predictivo. Por supuesto, puede ser incorrecto. Pero la utilidad de un modelo se mide en su simplicidad y poder de predicción, empezando con la certeza de que al menos pueda determinarse como incorrecto. Y ahí MS es bastante único. Por ejemplo, a nosotros si nos cambian un axioma se nos desmorona el tinglado, algo así como jugar un partido sin portero o sin el medio centro. Muchas otras historias que encontramos «en el mercado» no son así: si no funciona el principio A, lo hacemos A', o una versión de A pequeñita, algo de eso. Esa carencia de rigor, en nuestra opinión, viene de la falta de colaboración entre disciplinas: si nosotros anduviésemos con esa ligereza, no podríamos haber comenzado a comunicarnos ni entre nosotros. Por eso lo nuestro, cuando menos, se podrá demostrar que está equivocado. ¡A ver cuántos pueden decir lo mismo de sus sistemas!

Modestamente, creemos que MS es el inicio de un programa de investigación que, en sí mismo, va más allá. Lo que queremos es dar pasos hacia una aproximación verdaderamente científica al estudio del lenguaje. La lingüística se encuentra en plena transición de algo «filosófico» a algo «científico». Ya se sabe que el lenguaje es una ventana abierta a la mente humana. Su estructura nos da pistas, al menos, sobre cómo el cerebro recibe, almacena, manipula y externaliza la información. Y somos muy privilegiados, porque lo podemos hacer, por ejemplo, analizando *tweets* y *trending topics*, al margen de que estemos empezando a saber cómo «abrir cabezas» para mirar qué pasa dentro, a nivel neuronal. En el fondo, tenemos tanta información sobre nosotros mismos, en el mero uso de nuestro lenguaje natural para pensar, expresarnos, que vale la pena sentarse y analizarla. Y eso solo se puede hacer desde una perspectiva pluridisciplinar y abierta, donde las matemáticas, la física, la teoría de la información, o lo que haga falta según vamos entendiendo el asunto, desempeñen un papel tan relevante como su capacidad de predicción.

Creemos también que un cambio en la manera de concebir el estudio del lenguaje ha de venir desde la base. ¿Cómo les podemos enseñar sintaxis a nuestros chavales, digamos, pero no explicarles vectores (o viceversa)? A nuestro entender, es un profundo error separar ciencias de letras, cuando necesitamos matemáticas para entender la gramática de Chomsky, o recursos e imaginación lingüísticos para escribir un artículo científico como este –no digamos si es de divulgación…–. El conocimiento, en fin, está íntimamente entrelazado; desentrelazarlo inconscientemente en la educación, y desde edades tempranas, es negligente. Sirva lo que hemos intentado explicar como pequeño ejemplo de sinergia entre lenguaje y física, o ciencias y humanidades, así como de la profunda utilidad de lo aparentemente inútil. Si no por otra cosa, de un esfuerzo como este surge el respeto por el compañero de fatigas, que llega al océano del conocimiento desde otro continente… para acabar en la misma balsa: remando en una dirección o intentando pillar algún viento favorable. ¡Ya solo por eso merece la pena el esfuerzo!

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Orús, R, Martin, R. y Uriagereka, J. (en revision): *Mathematical foundations of matrix syntax,* *https://arxiv.org/abs/1710.00372* (en revisión en *Annals of Physics*).