



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE LETRAS HISPÁNICAS

**Una sintaxis natural para una mente
artificial: un modelo de la operación
Merge del programa minimalista
chomskiniano en Python**

TESIS

que para obtener el grado de
Licenciado en Lengua y literaturas hispánicas

PRESENTA

DANIEL ARTURO MARTÍNEZ GARCÍA

Asesora de la tesis
Dra. Margarita Palacios Sierra



Ciudad Universitaria, CDMX. 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Una sintaxis natural para una mente artificial: un
modelo de la operación *Merge* del programa
minimalista chomskiniano en Python.

Daniel Arturo Martínez García

En nuestro empeño por entender la realidad nos parecemos a una persona que trata de descubrir el mecanismo de un reloj cerrado. Sólo puede ver el movimiento de las manecillas y escuchar el tic-tac, pero no puede abrir la caja para ver lo que hay adentro. Si se trata de una persona ingeniosa, podrá imaginar como funciona el mecanismo responsable de todo lo que observa pero nunca podrá estar seguro de si su suposición es la única que explica sus observaciones. Jamás podrá comparar lo que él imagina con el mecanismo real y ni siquiera podrá saber el significado de tal comparación.

ALBERT EINSTEIN Y LEOPOLD INFELD
The evolution of physics

Imagine a un físico que se pregunta qué es lo que ocurre en el interior del sol. La forma sencilla de responder esto sería instalar un laboratorio dentro del sol y hacer experimentos. Pero no puede hacer eso porque el laboratorio se convertiría en gas. Así que lo único que se puede hacer es mirar la luz que proviene del sol e imaginarse lo que sucede dentro del sol que produce ese tipo de luz. Esto es muy parecido a tratar de suponer qué es lo que ocurre en los mecanismos físicos del cerebro.

NOAM CHOMSKY
Language and Problems of Knowledge.

Para mi mamá, Alma
por absolutamente todo.

RESUMEN

Esta tesis indaga sobre la posibilidad de la existencia de la *operación Merge* en cuanto a que constituye el concepto teórico central que postula una sintaxis universal humana de una regla única.

La operación *Merge* está inscrita en el marco teórico de la última etapa del generativismo conocido como «el programa minimalista». Dicha operación consiste en la unión binaria de dos ítems léxicos para crear objetos sintácticos complejos; está caracterizada por sus restricciones: debe ser factible tanto en términos genéticos y neurológicos como en su formalización matemática.

El procedimiento para estudiar a *Merge* sin variables externas fue por medio de un modelo de simulación en el lenguaje de programación Python. Dicho modelo se inscribe dentro de la inteligencia artificial «débil» que propone el modelado de mecanismos cognitivos «fuera del cerebro», por medio de la computadora, para lograr una mayor comprensión de la mente humana.

Prefacio

En el último par de años del siglo XX se realizó una propuesta de investigación para el análisis de las estructuras sintácticas la cual se conoce ahora como «el programa minimalista». Dicha propuesta, elaborada por Noam Chomsky, pretendía ser un *borrón y cuenta nueva* de aquellos postulados generativistas que se habían elaborado a partir de la década de 1950. La idea del «programa minimalista» no era eliminar su aparato teórico; el cambio principal consistía en reintroducir dos variables que se habían dejado fuera de las investigaciones iniciales: el aspecto biológico del cerebro humano y la formalización matemática.

Al idear gramáticas generativas de reglas de reescritura los generativistas habían olvidado que dichas gramáticas son altamente costosas en cuanto a esfuerzo, memoria y procesamiento para el cerebro humano. También habían olvidado que si habían postulado que la facultad del lenguaje es una característica de nuestra especie, dicha facultad debía tener un correlato genético, el cual era insostenible si postulábamos una gramática de «reglas heredables» de generación en generación.

Además, algunos desarrollos como la «teoría del caos» o la morfogénesis nos habían revelado que la naturaleza, por su esencia, parece seguir patrones los cuales solo son aprehendibles por medio de fundamentos matemáticos. Es decir, la forma en la que crecen las plantas, las manchas en el pelaje de los animales, el clima, la conformación de las costas marítimas, las huellas digitales, son fenómenos que no suceden de forma arbitraria sino que siguen patrones que, aunque son entrópicos, se pueden formalizar.

El cerebro humano, en cuanto a que es una creación natural y no humana, no debería ser una excepción: el cerebro humano debe tener una constitución que

sigue patrones naturales de la misma forma que la concha de un caracol no se construye «de cualquier forma posible».

El «programa minimalista», entonces, promueve la idea de «la igualdad de los cerebros». Cualquier cerebro es igual al otro sin que importe raza, sexo o factores sociales. Al ser iguales, la base por la cual se crean las estructuras sintácticas debe ser igual: ninguna lengua podría ser más o menos compleja; todas, en su base, son iguales. La idea que subyace es que, por lo menos a nivel sintáctico, lo que hablamos los seres humanos es «lengua humana».

La cuestión es, *¿cómo es que se puede proponer una igualdad entre las lenguas?* La idea del programa minimalista es proponer una sintaxis de mecanismos mínimos, coherente con los descubrimientos actuales en genética, neurología y morfogénesis. Debe de ser una sintaxis que resida en cada niño que nace, únicamente por su condición humana y su dotación genética.

Una de los mecanismos centrales de esta propuesta es la operación llamada «Merge» o *fusión*. Su formulación básica es: «de forma recursiva, tomar dos objetos sintácticos y combinarlos en un objeto sintáctico complejo y nuevo».

La pregunta que podemos hacernos es, *¿es esto posible?, ¿es posible reducir la sintaxis de las lenguas a una operación binaria sintagmática?, ¿es posible explicar la base de la sintaxis de todas las lenguas con una sola regla operacional?*

La presente tesis es una búsqueda para determinar si es posible crear estructuras sintácticas complejas con una operación simple de «unión» binaria. Con esta tesis, busco demostrar que el mecanismo de funcionamiento de Merge, para el paradigma del generativismo, es adecuado y eficiente.

El razonamiento que he seguido para esto es «crear la operación Merge desde cero».

Un camino que pude haber tomado podría haber sido analizar un conjunto de oraciones y, de allí, decir que fueron ensambladas por medio de Merge. Pero esto no aporta evidencia empírica ni aporta datos nuevos sobre nuestra disciplina. «*Creer*», *simplemente, que Merge existe* es un dogma de fe, y eso es inaceptable en cualquier disciplina científica o investigación.

Entonces, *¿cómo puede una persona «diseñar artificialmente algo similar a Merge»?* La única forma posible es tomar un cerebro humano y crear el lenguaje dentro de él –y de paso, la «mente»–. Como se puede ver, esto es imposible. Ésta es la razón por la que he decidido abrir este texto con una cita de Einstein y una de Chomsky: «diseñar Merge» es similar a instalar un laboratorio en el sol o determinar el mecanismo de un reloj sin abrirlo.

La forma más simple de hacerlo era crear una simulación o modelo. Para ello, necesitaría una «mente artificial» y lo más cercano que hay a este objeto en el mundo, son las computadoras.

La tesis que presentaré gira en torno a la siguiente pregunta de investigación: *¿Es posible emular la operación sintáctica Merge en una máquina?, ¿es posible crear un conjunto diverso de oraciones con ella?*

Esto deriva en la hipótesis:

1. Si existe una función sintáctica binaria –Merge–, caracterizada por su simpleza, eficiencia y «buen diseño», y tal función es un parámetro universal a las lenguas del mundo, entonces es posible –dada su simpleza– modelarla de manera algorítmica por medio de la programación computacional de manera que construya oraciones gramaticales «bien formadas».

Esto deriva en dos hipótesis subordinadas a la primera que se resolverán durante el desarrollo de la tesis:

2. Si existe una función sintáctica binaria universal la cual subyace en todas las lenguas naturales humanas, tal principio debe estar determinado biológicamente –ya que la morfogénesis es lo único similar entre los humanos desde su nacimiento– y, por lo tanto, tal función no puede superar las posibilidades de la naturaleza del cerebro: debe ser concreta, simple y ligada a las posibilidades cognitivas humanas.

2.1 Si la comunicación humana está determinada por la biología humana, debemos encontrar «rastros» en otras especies animales que den evidencia de un cambio evolutivo a nivel cognitivo.

3. Si existe una función sintáctica binaria que pueda construir estructuras oracionales «bien formadas» y tal función está caracterizada por su simpleza, es posible entonces formalizarla tanto matemáticamente como algorítmicamente de manera que la formalización también construya oraciones «bien formadas».

3.1 Si dicha función puede ser presentada como un algoritmo, es posible elaborar un programa con la operación sintáctica binaria que construya oraciones «bien formadas»

Como todo trabajo de investigación serio, también planteo una hipótesis antitética conocida como «hipótesis cero», la cual intentaré demostrar que no se cumple en lo absoluto.

Mi «hipótesis cero» es:

La función sintáctica binaria universal NO puede representarse de manera algorítmica simple y, por lo tanto, es imposible crear un programa que elabore estructuras «bien formadas» sintácticamente. Por lo

tanto, no puede transmitirse de generación en generación –debido al costo en información, memoria y genética– y, por lo tanto NO es universal, ni hay igualdad en los cerebros humanos. Merge, en este caso, no tiene un correlato en la realidad del lenguaje ni de la mente.

Esta tesis, por lo tanto, está estructurada en dos partes.

La primera parte es un trabajo monográfico que aporta el sustento teórico para la creación de un programa computacional que simule *Merge*.

En esta parte he intentado ser lo más explícito posible y abarcar un panorama general del marco teórico que utilizaré. Para aquellas personas que estén familiarizadas con el generativismo, que tengan instrucción matemática o genética elemental, que estén ligados a la programación o las ciencias cognitivas esta parte les puede parecer demasiado engorrosa, absurdamente larga o pedestre –p. ej. reviso los símbolos básicos utilizados en «teoría de conjuntos»–.

La razón de crear un texto tan profuso es que intenté capturar las bases teóricas del «programa minimalista» por completo¹. El marco teórico basto tiene la función de introducir al lector en la función *Merge*, las dificultades ante su diseño y su conceptualización teórica. Como podremos ver, será necesario explicar a profundidad algunas características teóricas de *Merge* para entender el diseño en lenguaje de programación.

La segunda parte trata del diseño «experimental» –si es posible llamarlo así– donde explico, paso a paso, cómo es que he creado una pieza de software, un código escrito en el lenguaje Python, que simule el mecanismo de la operación *Merge*.

Tal parte es un capítulo único, más los apéndices. En ella he intentado también ser explícito y decir qué fue lo que hice para realizar el programa, explicar cada línea –en la medida de lo posible, ya que podría haber sido más profuso– y explicar qué es lo que hace, línea por línea.

La metodología que seguí para el diseño experimental lo puedo resumir en una serie de pasos:

1. Realicé una formalización de la función *Merge* en forma de cálculo lambda.
2. Transformé esta formalización a un algoritmo y, después, a un programa en Python.
3. Seleccioné un «corpus» el cual consiste en una base de datos de 500 tweets los cuales son extraídos y procesados en tiempo real.
4. Debido a que el sistema de etiquetado que clasifica las palabras del corpus no reconoce la transitividad de los verbos y los nombres propios, realicé

¹Además, debido a prejuicios, siembra cierta desconfianza que un estudiante de letras hable de matemáticas, genética y computación.

una segunda base de datos con verbos transitivos e intransitivos, además de nombres propios clasificados como tal.

5. Apliqué el algoritmo al corpus para determinar si su funcionamiento era adecuado.
6. Elaboré una versión modificada de *Merge* que sirviera como la función *Copy*.
7. Modifiqué el algoritmo para producir diferentes tipos de oraciones con el mismo corpus.
8. Comparé mis resultados con otro programa basado en reglas de reescritura de la «Teoría estándar».

Estos pasos serán explicados, a detalle, en la última sección de esta tesis.

En cuanto a su concepción, esta tesis fue ideada con el propósito de crear una «colección de *ricercar* a una sola voz». Dicho término, *ricercar* o *ricercare*, procede de la «Ofrenda musical» de Bach, el viejo –posiblemente la colección de cánones y fugas más complejo y matemático que existe–. El término procede del italiano «buscar» –y posee el mismo sentido que tiene en inglés la palabra «*research*»–. Pensar en un texto como un conjunto de *ricercar* procede de Douglas Hofstadter en su ensayo «Gödel, Escher, Bach». La idea es un texto, con un tema base, en el cual cada capítulo apunta a un tópico, objetivo o disciplina diferente: aunque cada capítulo parezca poco relacionado con los demás, cobra sentido al «trenzarlos». Hofstadter utiliza esta forma textual ya que es apropiada para capturar la *complejidad*. Dado que el tema de esta tesis es complejo y multidisciplinario, posee esa forma.

Dicho esto, esta tesis está compuesta por siete capítulos –o *ricereares*– más apéndices.

Capítulo 1 ¿Qué es la sintaxis?, ¿por qué merece la pena estudiarla? En este breve capítulo hago una introducción al estudio sintáctico de la lengua, desde el enfoque generativista. En esta introducción vuelco las ideas principales que acompañaran al lector de esta tesis por los siguientes capítulos. En especial, en la idea biológica del lenguaje y el uso de la inteligencia artificial para su estudio.

Capítulo 2 Doy una explicación amplia y detallada de algunos de los aspectos formales que utilizaré al final de la tesis. Inicio con la «teoría de conjuntos» y cómo, de allí, fue evolucionando a la «teoría de autómatas» y las «gramáticas formales». También se da una breve explicación de lo que es una «máquina de Turing» y el «cálculo lambda» lo cual será muy relevante para

la formalización de Merge –y no puede ser entendida sin saber el contenido de este capítulo–.

Capítulo 3 Se da una introducción a las ciencias cognitivas y la inteligencia artificial. La idea es diferenciar entre dos inteligencias artificiales como disciplina: aquella que quiere «hacer una máquina inteligente» y aquella que quiere «saber qué es la inteligencia por medios artificiales». Se explica por qué la postura de este trabajo no es crear una computadora «que hable» ni el procesamiento del lenguaje, sino que se buscan preguntas trascendentales como «¿qué es la inteligencia o la mente o el lenguaje humano?».

Capítulo 4 Aquí explico algunas evidencias de que el lenguaje humano, en su parte de sintaxis, puede tener bases biológicas y hereditarias. Reviso distintas muestras de la comunicación animal y sus posibilidades para mostrar que el lenguaje «no simplemente apareció» sino que es fruto de la evolución natural. También se discute el papel de la genética en la adquisición del lenguaje y hago una crítica a las investigaciones de FOXP2. Se plantea la pregunta «¿qué es lo diferente entre la comunicación animal y la humana en términos genéticos y cognitivos?»

Capítulo 5 Hago una revisión rápida del generativismo chomskiano desde su aparición con la «teoría estándar» hasta nuestros días con «el programa minimalista». Explico algunos de los pilares teóricos de el generativismo y cómo ha cambiado con los años. Este capítulo es el más importante del marco teórico y contiene toda la teoría que se utilizará en el modelo artificial de Merge.

Capítulo 6 Aquí muestro el programa que yo mismo he diseñado en Python que simula la operación Merge en la mente humana. Explico línea por línea el programa y su output para mostrar mis resultados. También muestro una propuesta secundaria basada en «reglas de reescritura» y el por qué no es sostenible esa otra teoría.

Capítulo 7 Aquí se dan las conclusiones generales del trabajo, observaciones que hice a lo largo de mi investigación y qué trabajos se podrían derivar de esto.

He intentado que este texto sea, ante todo, «disfrutable» ya que a simple vista puede ser intimidante y difícil de entender.

He mantenido un estilo menos académico de lo usual –casi de «divulgación»–, un poco más desenfadado y ligero. Espero que el lector crea, como yo, que este era el estilo más apropiado para mostrar un tema tan seco y difícil y no que «resta seriedad importante al trabajo».

A simple vista, este texto podría parecer demasiado técnico y «deshumanizado». Es decir, podría parecer que se trata de un texto que tiene pretensiones matemáticas, de ingeniería o científicas.

Sin embargo, quiero recordar al lector que, ante todo, este texto es un texto de *lingüística* y de *filosofía de lenguaje* y debe leerse como tal.

Es un texto de lingüística en el sentido de que explora cómo es que funciona la sintaxis en las lenguas naturales humanas dentro de la mente. El marco teórico que utilicé para determinar esto es la última etapa del generativismo conocida como «el programa minimalista». Esto puede causar cierta animadversión en aquellos que no comulguen con las ideas de Chomsky o que el formalismo exacerbado les parezca sospechoso.

Ante todo, quiero declarar que mi postura con respecto a la lingüística es que los estudios del uso de la lengua –los géneros discursivos, la lingüística de la escritura, la variación y el cambio, etc.– son el centro de nuestra disciplina.

El trabajo que presento es, en realidad, marginal.

Sin embargo, considero que el problema que intento resolver aquí –aunque de forma incompleta– es un asunto interesante para delimitar cómo es que funciona el sistema lingüístico. Una vez que quede aclarado que el sistema es un conjunto de rasgos mínimos, podemos continuar con lo que es realmente esencial: los «juegos» o las situaciones comunicativas y sus implicaturas.

Este texto está inscrito en una tradición de estudios lingüísticos que se considera prácticamente extinta: *la lingüística matemática*. Esta corriente, introducida a latinoamérica por Igor Aleksándrovic Melčuk y Sebastián Serrano, gozó de cierta popularidad y «morbo» durante los años de la guerra fría. Una vez que se desestimó el uso de gramáticas formales para el estudio sintáctico, esta corriente cayó en el olvido. Por ciertas razones que ni yo mismo puedo explicar, he decidido retomar de manera muy somera esa corriente pero con un enfoque nuevo y más «humanista».

Por otro lado, este texto como argumento de la *filosofía del lenguaje* es una reflexión epistemológica acerca del objeto conocido como «sintaxis» y la forma en la que funciona la mente. Es por ello que, como se verá, existen ejes filosóficos no explícitos en mi argumentación que siguen ideas propuestas por Turing, Wittgenstein, Searle, Penrose y Snow acerca de la relación entre la parte física y la parte metafísica del lenguaje: *la relación cerebro-mente*.

Las secciones que contienen datos o descripciones asociadas con la genética, las matemáticas, la computación o la inteligencia artificial, deben verse únicamente como herramientas del pensamiento o como apoyos a la argumentación. No propongo nada nuevo: *son odres nuevos con vino viejo*. Incluso, puedo afirmar que este texto abre más preguntas de lo que ofrece respuestas. Creo, ante todo, que una pregunta clave que puede llevar al lector por este laberinto es «¿cómo es que

una serie de impulsos eléctricos se transforma en el sistema de la lengua?». Anticipo que la respuesta no está en ninguna parte del texto y que, ni siquiera he logrado arañar la superficie del problema que he planteado.

Agradecimientos

Agradezco al **Seminario Universitario de Estudios del Discurso Forense** de la Facultad de Filosofía y Letras por su apoyo moral e intelectual y las facilidades que me otorgaron para terminar esta tesis tan extensa. El Seminario es un espacio para el fomento, la discusión y la práctica de la lingüística que no tiene parangón en nuestro país. Agradezco su existencia misma y su apertura a las nuevas ideas.

Ante todo, mi agradecimiento eterno y entero está con la **Dra. Margarita Palacios Sierra** (FFyL, UNAM) quien aceptó a asesorar un proyecto tan «loco» y tan alternativo como el mío. Usted confió en mí a pesar de la heterodoxia de esta tesis «de letras» ya que el generativismo no es una de las líneas típicas de nuestra carrera. Aún sigo sorprendido de las pláticas que tuvimos sobre modelos de Markov, el «Gödel, Escher, Bach», inteligencia artificial, programación y otras áreas que, sinceramente, no esperaba fueran de su dominio. Sus sabios consejos, sus agudas observaciones y su paciencia hicieron de esta tesis algo más interesante de lo que yo esperaba.

También llevo en mi corazón todas sus clases; especialmente las de *fonética* y las de *análisis del discurso*. Usted me formó como lingüista: *dedicarme a los estudios del lenguaje ha sido una de las decisiones más felices de toda mi vida*. Mi agradecimiento eterno a usted, Margarita.

Además, agradezco al **Dr. José Lema Labadie** (UAM, Iztapalapa) que cambió por completo, y para siempre, mi concepción de la sintaxis, el lenguaje humano y la mente. En algún punto yo quería hacer una tesis sobre generativismo clásico, pero la guía del «sabio profesor Lema» me llevó a descubrir el programa minimalista y los últimos avances en teoría sintáctica. No creo que haya palabras suficientes para mostrar mi agradecimiento por lo que ha hecho por mí y con la lingüística mexicana actual.

También a la **Dra. Cecilia Thomsen Zenteno** (UACM, Tezonco) quien me llevó a formularme algunas de las preguntas más importantes acerca del lenguaje que me haya podido hacer. Sus observaciones acerca de la comunicación, el cerebro humano, el origen del lenguaje y la antropología humana son invaluable para mí. Esta tesis comenzó el día que hablamos por primera vez del lenguaje y su relación con el pensamiento. Estoy en deuda con usted.

Mi agradecimiento también va a mis profesores, **Laura Romero Rangel** y **Raúl Jorge del Moral Mena** quienes participaron como lectores y sinodales de

mi examen profesional. Yo, de verdad, *quería* que ustedes estuvieran en mi examen profesional –a pesar de que sus áreas de investigación se alejan del tema de esta tesis–. Ustedes son los profesores más importantes que tuve en toda la carrera ya que me abrieron las puertas al mundo de los estudios de la lengua. Sus clases fueron cruciales para mi formación como lingüista; por ello, quería que participaran en la conformación de este texto. Me disculpo por la insistencia, por «perseguirlos» por toda la facultad, por usar «estrategias» –por no decir «trucos sucios»– para que aceptaran participar en mi examen. En verdad quería sus comentarios de este proyecto que comenzamos juntos –aunque ustedes no lo supieran–. Les agradezco infinitamente: *siempre me consideraré su alumno, con mucho orgullo*.

Como dije en las primeras páginas, la tesis va enteramente dedicada a mi mamá, **Alma Rosa**. Perdón por la tardanza y por los problemas; y gracias por todo, por el apoyo, el cobijo y la comprensión. En buena medida tú me inspiraste a estudiar esto. Una buena parte por los libros que me leías a la hora de dormir con lo que supe que había un mundo por descubrir entre las páginas. Por otra parte, cuando descubrí que tu ocupación tenía que ver con el lenguaje, yo también quise hacer una contribución a ese campo.

Para mi hermano, **David**, de quién he aprendido más que de cualquier otra persona en este mundo. Tus respuestas acerca de cómo funciona la música –es un tema que sigue siendo un misterio para mí– han sido las reflexiones más sabias que he escuchado acerca del arte, la mente y la disciplina. Además, tienes ese extraño don de encontrar «palabras o frases que suenan chistoso o interesante» que, desde que eramos niños, me ha maravillado siempre. Gracias.

También mi agradecimiento a **Carmen Janín**. Gracias por impulsarme a regresar y cerrar cabos sueltos: tú eres mi cohete para llegar a la luna. Has hecho por mí mucho más de lo que crees: estoy en eterna gratitud por todo. Gracias por tu amor, por los buenos momentos y por tu impulso. Eres la persona más linda que he conocido en este mundo; estoy agradecido de poder ser testigo de tu vida. Te amo.

Para **Ana Olivia**, quien me mostró alguna vez que estudiar las palabras se puede hacer con alegría, pasión y destreza. Ojalá pueda algún día «jalarte» a que termines con la tesis y todos los pendientes que dejaste de lado.

Para mis amigos, todos y cada uno de ustedes. A Viridiana de Santiago que me brindó su apoyo. A los del grupo Graphofilos, que estuvieron conmigo siempre en los momentos difíciles y los más alegres. A Hossanna, Alejandra, Silvia, Emile, Salvador, Lalo, Roger, Sacni y Carla. Además, mis amigos de la carrera, Sergio y Jorge. A mis tíos y prima, Toño, Vero y Rebeca. A aquellos que ya se fueron: Abraham, Rosa y Martina. A todos, muchas gracias. No lo hubiera podido lograr sin ustedes.

Presentación

Ningún idioma se estudia simplemente como una mera ayuda para otros propósitos. De hecho servirá mejor a otros propósitos, filológicos o históricos, cuando sea estudiado por amor, por sí mismo. [...] El deleite básico en los elementos fonéticos de un idioma y en el estilo de sus estructuras, y después, en una dimensión superior, el placer en la asociación de estas formas de las palabras con significados, es de importancia capital. Este placer es bastante distinto del conocimiento práctico de una lengua, y no es lo mismo que una comprensión analítica de su estructura. Es algo más simple, de raíces más profundas y, sin embargo, más inmediato que el disfrute de la literatura.

—J. R.R. Tolkien. «El inglés y el galés»

Los seres humanos hablan: son animales que hablan. Tal proposición la consideramos, en automático, como verdadera e incluso como una trivialidad obvia. Los humanos hablaban mucho antes de nuestro nacimiento y seguirán hablando mucho después de nuestra muerte. En esta dimensión, es extraño pensar en este hecho como si fuera algo extraordinario.

Sin embargo, lo es.

Los seres humanos son animales que hablan y eso, en realidad, es una maravilla y, casi, un milagro. Cada gran amor, cada declaración de guerra, las grandes amistades, los genocidios, la lucha contra la enfermedad, las sentencias de muerte, los ofrecimientos de paz y todas las traiciones: todo esto ha sido posible porque los seres humanos pueden hablar.

Hay que detenernos un momento a pensar en este hecho en una escala cósmica.

Existe una roca que va viajando a miles de kilómetros por hora, en el vacío del espacio, en un sistema solar bastante insignificante. Esta roca sólo es relevante porque crecieron millones de «animalitos» en ella. De ellos, los miembros de un grupo minúsculo de animales, en algún punto perdido del tiempo y de alguna forma desconocida, comenzaron a hablar. A partir de allí, por medio de su capacidad de hablar, construyeron todo lo que podemos ver a nuestro alrededor.

Al hablar construyeron «lo humano».

¿Por qué?, ¿por qué los seres humanos hablan? Esta pregunta es relevante en el sentido que responde parte de dos de las preguntas más trascendentales que se han formulado: *¿qué somos?*, *¿quiénes somos?*

Entre más reflexionamos sobre el lenguaje humano y lo aislamos como objeto de estudio, podemos encontrar que responder a estas preguntas es una labor extremadamente complicada, casi imposible.

Somos primates que logramos crear un sistema complejo de comunicación lo cual nos permitió concebir el mundo humano tal y como lo conocemos –tanto que, posiblemente, la realidad misma está hecha de nuestras palabras–. Somos seres tan profundamente simbólicos que creamos uno de los sistemas de signos más complejos que podíamos para comunicarnos en nuestra vida diaria. Somos entidades orgánicas y biológicas que podemos condensar pensamientos en nuestra mente y convertirlos en ondas de sonido que se «introducen» en la mente de otro ser que las entiende perfectamente. Somos seres que distinguimos rangos diversos de frecuencia audible lo cual nos permite identificar, en milésimas de segundo, qué configuración de la faringe y la lengua de la otra persona tenía al expulsar aire y eso, además, podemos dotarlo de significados complejos.

La cuestión es aún más sorprendente.

Todo humano, sin que importe cualquiera de sus características –raza, sexo, edad, profesión, nivel socioeconómico– posee un sistema de su lengua materna, perfecto y completo. En cuanto a la lengua, todos somos iguales. No hay jerarquías, no caben etiquetas de «civilizado / incivilizado», ni «habla bien / mal». Todos los seres humanos, en cuanto a su humanidad, poseen un sistema lingüístico perfecto en su mente. Cualquier jerarquía o grupo dominante en una lengua que exista, tanto intelectual como administrativa, no es más que una construcción política insostenible en cuanto a la naturaleza de la lengua humana.

Un bebé en China aprende mandarín con la misma facilidad que un bebé aprende español en México. Toda persona, por muy pobre o rica, por muy iletrada o llena de postdoctorados, por muy aislada o popular, posee un sistema de comunicación perfecto y completo.

¿Cómo es que llegó a nuestra mente?, ¿cómo es que nuestro cerebro mantiene a nuestro lenguaje atrapado de manera que está allí para cuando queramos usarlo?

Es evidente que cualquier ser humano tiene la capacidad de aprender por lo menos una lengua. Existen historias de niños salvajes que no poseen una lengua debido a su aislamiento en los primeros años de vida. Sin embargo, podríamos suponer que fue el aislamiento de su cultura y de una lengua que pudiera adoptar como *materna* lo que provocó que no poseyeran un sistema de comunicación. Lo que nos costaría más probar es que carecían de la capacidad de aprehender una lengua propia.

Un bebé adquiere la lengua de sus padres sólo escuchándolos. Y, cuando no tiene padres, lo hace escuchando las voces de su medio. Pero, ¿no es raro que los bebés, cuando se convierten en una persona adulta, pueden hablar su lengua aunque no hayan tenido más que fragmentos para aprenderla? Los bebés van aprendiendo items léxicos de su entorno¹: de las palabras de sus familiares, del radio, de los ruidos, de las pláticas que suceden ante él. No existe ningún profesor de lengua que le enseñe la gramática de su lengua materna; el bebé comenzará a hablar de una manera tan natural como se pondrá de pie y caminará.

Todo bebé funciona como «un pequeño lingüista»: hace hipótesis, las prueba en el habla de su entorno y de allí llega a generalizaciones. Es interesante notar que, en un primer momento, adquiere las formas regulares del lenguaje y, después, las variaciones propias de su lengua y variante dialectal. Es común, en ciertas etapas, que los niños pequeños digan «hació» en lugar de «hizo» y «rompido» en lugar de «roto». Es decir, los bebés y los niños pequeños hacen hipótesis y experimentos de la gramaticalidad de la lengua que adquieren.

Podemos entonces decir que «sabemos cosas» cuando llegamos a este mundo. Y si no «sabemos cosas» cuando menos estamos dotados para adquirir conocimiento. Hay conocimientos, más allá de los instintivos, que nos permiten incluso sobrevivir en nuestra infancia. Uno de esos primeros conocimientos es el que se llama «de reconocimiento de rostros». En cuanto el bebé posee una vista adecuada, recuerda rostros familiares a él. Esto es imposible si no reconocemos que existe algo llamado «mente» en ese bebé. ¿El sistema que permite entender los rostros humanos es un «conocimiento»? Si aceptamos que lo es, necesitamos una teoría sobre el conocimiento que acepte la existencia de saberes conscientes e inconscientes.

¿Sabemos cosas que no sabemos que las sabemos? Indaguemos un poco en la lengua.

Las personas que nos dedicamos a estudiar la lengua entendemos la diferencia entre un sustantivo, un verbo, un adjetivo o un adverbio. La complejidad de estas

¹Es decir, conjuntos de rasgos: la forma de procesar el sonido y la forma de producirlo mediante movimientos musculares, su significado vericondicional y su significado contextual-pragmático, su morfología y sus derivaciones, etc. Es difícil decir que los bebés aprenden «palabras»: la cuestión es más compleja que solo eso.

categorías pueden llenar cientos de páginas en manuales y gramáticas. Incluso hoy, los profesionales de la lengua no están totalmente de acuerdo en la definición y la clasificación de estas categorías.

Podríamos decir que una persona reconoce la gramaticalidad de su propia lengua, tanto en su producción como en su recepción. Pero, si la persona no sabe nada de la gramática de su lengua, *¿como es que sabe cuando algo es agramatical?*

Demos un paso más adelante. En nuestra lengua, el español, no existen marcas de caso. En el latín es perfectamente claro cuándo un sustantivo es el sujeto de la oración –caso nominativo– y cuándo es el objeto directo –caso acusativo–. ¿Qué sucede en lenguas, como la nuestra, que no tienen esas marcas de casos?. Pensemos en un ejemplo –tomado de Crystal (1971, p. 21)– en inglés, el cual no utiliza preposiciones para marcar sustantivos «animados»:

(1.1) A boy₁ kicked a boy₂

Es evidente que el primer muchacho (boy₁) fue quien pateó al segundo muchacho (boy₂). Sin embargo, en los sustantivos no hay flexión alguna o palabra que marque sus papeles temáticos. Sin embargo, el hablante de inglés, puede parafrasear perfectamente la situación enunciada.

Si observamos el japonés, existen partículas que marcan la función de cada uno de los «actantes» de esa oración:

(1.2) *Shounen wa shounen o keri-mashita*
Muchacho S Muchacho OD patear-PAS
'El muchacho pateó al muchacho'

Sin embargo, los hablantes en español podemos reconocer quién es el sujeto y quien el objeto sin más marcas que la forma en la que está construida la oración. Por ejemplo:

(1.3) La zanahoria comió un conejo.

El sentido común nos podría dictar que, lo «normal» es que el conejo se haya comido a la zanahoria y no al revés. Sin embargo, tenemos muy claro que, en esta oración, el agente que realiza la acción es la zanahoria y el conejo participa como el alimento. Lo interesante en este caso es que debe existir un mecanismo cognitivo que nos indica quién es el agente de la oración, tanto que, al imaginarla, «antropomorfizamos» a la zanahoria al punto que imaginamos sus dientes y, posiblemente, brazos.

En ejemplos más complejos, los hablantes de español no nos perdemos en absoluto. Incluso en un texto tomado del siglo de oro español, como en Don Quijote de la Mancha tenemos que:

- (1.4) Dígolo porque si anoche nos cerró la ventura la puerta de la que buscábamos, engañándonos con los batanes, ahora nos abre de par en par otra, para otra mejor y más cierta aventura, que si yo no acertare a entrar por ella, mía será la culpa, sin que la pueda dar a la poca noticia de batanes ni a la oscuridad de la noche.

A pesar de la distancia que tenemos con el siglo XVI, logramos entender en Cervantes que «la ventura» es la que cerró «la puerta» y no al revés y que es ella quien les abre de «par en par» otra puerta –lo cual se entiende por inferencia del lector–. Un análisis gramatical de esta sola oración sería largo y difícil; sin embargo, un hablante de español logra entender las formas de su lengua completamente y de manera inconsciente.

Este conocimiento intrínseco puede ir más allá de nuestra propia lógica. Pensemos de nuevo en el sufijo -s, el cual también funciona en el inglés como marca de plural: *cat* > *cats*. Sin embargo, en los verbos, este sufijo está presente en el singular y no en el plural. ¿Cómo es que el hablante logra reconocer diferentes morfemas a pesar de que son similares en su forma? Pinker (1999, p. 18) nos da un ejemplo al respecto:

- (1.5) a. He walks (*Él camina*).
b. They walk (*Ellos caminan*).

La capacidad de reconocer estas formas y descubrir significados por su configuración va más allá. Podríamos declarar –de forma peligrosa y aventurada– que ni siquiera se requieren palabras «reales» para que este mecanismo funcione. Podemos usar signos cuyo significado no refiere a ninguna cosa. Ésta característica ha sido utilizada en varias ocasiones en la literatura en figuras retóricas. En el famoso glíglico del capítulo 68 de «Rayuela», Julio Cortázar escribe:

- (1.6) Apenas él le amalaba el noema, a ella se le agolpaba el clémiso y caían en hidromurias, en salvajes ambonios, en sustalos exasperantes. [...]

en donde podemos entender «algo» solo por la forma de la construcción.

Los seres humanos, parece ser, somos sensibles ante la «agramaticalidad» de nuestra lengua materna, sin que importe cuál sea esta. Podemos distinguir una construcción «bien formada» o «mal formada» y esto es independiente de errores suscitados por el contenido lógico vericondicional, el conocimiento del mundo, la adecuación pragmática, la pronunciación o factores relacionados con el vínculo entre estamento sociocultural y el habla de dicho estamento.

Los hablantes saben cuando algo es *agramatical* pero no pueden explicar por qué lo es. Es decir, logramos utilizar el sistema de nuestra lengua materna sin necesidad de conocer las reglas gramaticales. Esta capacidad innata para aprender una

lengua cuando somos bebés, para utilizarla y saber reconocer cuando una construcción es errónea a pesar de que no tengamos el conocimiento metalingüístico de *por qué* está mal, ha suscitado que nos hagamos preguntas acerca de la naturaleza del lenguaje.

Aún no sabemos cómo es que heredamos la facultad del lenguaje. Tampoco sabemos, por completo, cuáles son los mecanismos biológicos o cognitivos que nos permiten hablar y comunicarnos con oraciones nuevas, nunca antes escuchadas. Y hay que tener en cuenta que dichas «oraciones nuevas» pueden contener referentes del futuro, de objetos que no están presentes o de conceptos abstractos.

Incluso, no tenemos ni la menor idea de cómo fue que nuestra especie, en sus inicios, logró desarrollar un sistema de signos que le permitió crear el mundo que conocemos ahora.

Esta tesis es un documento sobre *sintaxis*. Es decir, sólo se inscribe en una propuesta sobre este conocimiento que nos permite producir oraciones «bien formadas» y saber cuándo una oración está «bien formada». La idea que subyace en este texto es verificar una de las últimas propuestas del marco teórico conocido como «generativismo» –fundado por Noam Chomsky– la cual se conoce como «el programa minimalista».

El fundamento del programa minimalista es crear una teoría de la sintaxis que sea, como si nombre lo indica, *mínima*. La razón de buscar una teoría mínima de la sintaxis es para que sea coherente en cuanto a los parámetros de evolución y genética actuales. Si los seres humanos adquieren su lengua en un periodo de su vida en que no pueden adquirir conocimientos más complejos y este mecanismo mental que nos hace capaces de detectar la gramaticalidad es heredado, entonces no puede ser muy complejo, ya que tendría gran costo tanto a nivel cognitivo como a nivel genético.

Por lo tanto, me centraré en uno de los mecanismos principales del «programa minimalista»: la operación *Merge*.

Cuando comencé a conocer el generativismo y el «programa minimalista» me parecía muy sospechosa la idea de que una sola operación de fusión binaria pudiera, realmente, crear oraciones «bien formadas». Esta tesis, lo que intenta, es determinar si estas sospechas y desconfianzas son reales o infundadas. Para determinar esto, requería conocer a profundidad dicha teoría y sus disciplinas involucradas.

Este documento es el resultado de mis investigaciones al respecto.

En ningún momento intento hacer una teoría sobre el lenguaje ni sobre el origen del lenguaje. Tampoco se intenta crear «una máquina que habla» ni un «robot que habla». Tampoco intento determinar qué proteínas o que secuencia genética da pie a la facultad del lenguaje o si es función de las «neuronas espejo».

Incluso, me cuesta decir que esta es una tesis sobre sintaxis –sobre lingüística, tal cual–.

Todo esto es, en realidad, la respuesta a mi curiosidad de si es posible armar una oración bien hecha «solo juntando palabras en pares».

Sin embargo, existe un viejo dicho budista –atribuido a Lao Tsé– que reza:

Un viaje de mil kilómetros debe empezar por un paso.

Bases formales

Los semagramas parecían ser algo más que lenguaje; eran casi como mandalas. Me sorprendía en estado meditativo, contemplando la forma en que las premisas y las conclusiones eran intercambiables. No había una dirección inherente en la forma en que se conectaban las proposiciones, no había «hilo del pensamiento» que siguiera un camino en particular; todos los componentes del acto de razonar eran igualmente potentes, todos tenían idéntica importancia.
–*Ted Chiang*. «La historia de tu vida»

A finales de la década de los cincuenta del siglo XX, el lingüista y matemático Noam Chomsky propuso una forma alternativa de formalismo con una línea de investigación diferente al estructuralismo que imperaba en esa época.

El «generativismo», el método de investigación propuesto por Chomsky, continuaba con el objeto de estudio de la «lengua» sobre el «habla» –cuestión que le generó múltiples críticas, pero que se ha disuelto en los últimos años–. El cambio principal era una cuestión de enfoque: se proponía un método de investigación lingüística hipotético-deductivo en contra del método inductivo del estructuralismo. Es decir, en lugar de la observación de los datos lingüísticos y, a partir de allí, sacar generalizaciones, el «generativismo» postula modelos hipotéticos y, después, se revisa si ellos se cumplen en los datos.

Otra de las cuestiones «novedosas» del generativismo era la idea de que dichos modelos tenían que ser «matemáticamente coherentes». Esta formulación teórica se fue diluyendo en etapas posteriores del generativismo hasta el punto en que los estudios realizados bajo la teoría «generativa-transformacional» y la

de «principios y parámetros» es prácticamente nula la idea de la «coherencia matemática».

La idea de Chomsky de considerar a la sintaxis de las lenguas humanas desde un punto de vista teórico matemático procede, en mi opinión, del ambiente intelectual de la época; especialmente en el MIT de donde Chomsky es catedrático. Para ese momento histórico, había dos ideas que eran fundamentales para entender qué es lo que motivó a Chomsky a declarar un formalismo con base matemática en la sintaxis.

Por una parte, durante el siglo XX se dio una gran revolución en el campo de las matemáticas que cambió mucho de la forma en que percibíamos científicamente la realidad –por ejemplo, el cambio de un modelo newtoniano de la gravitación por uno relativista–. Este cambio se originó, en buena medida, por las propuestas de David Hilbert, el «teorema de incompletitud» de Gödel y el concepto de algoritmo y la fundación de las ciencias de la computación por parte de los trabajos de Alan Turing –con la «máquina universal de Turing»– y Alonzo Church –con el «cálculo lambda»–. Además, comenzó a descubrirse una relación intrínseca entre las «formas orgánicas de la naturaleza» y ciertos conceptos matemáticos –como es el caso de los *fractales*–.

Por el otro lado, en la segunda mitad del siglo XX –durante la Guerra Fría– el estudio formal de la computación dio pie a la creación de nuevas máquinas que podían realizar más funciones más allá de cálculos matemáticos. El desarrollo de supercomputadoras –para los parámetros de ese tiempo– como la ENIAC o aquellos usados durante las misiones Apolo, cambiaron la forma de ver a la «mente humana» teórica y filosóficamente. Esto dio pie a la creación de la rama multidisciplinaria de las «ciencias cognitivas» en donde uno de sus ejes principales era la «inteligencia artificial».

Noam Chomsky muchas veces intenta buscar antecedentes a su propuesta metodológica en la lingüística –es común escucharlo hablar de los gramáticos de Port Royal, de Panini o de Willhelm von Humboldt–. Sin embargo, es más que evidente que está concentrado en las matemáticas y la ciencia cognitiva de su tiempo al mismo tiempo que recupera las ideas de Descartes en cuanto a la relación mente-cerebro. Esto lo podemos notar en su artículo «*On certain formal properties of grammars*» (Chomsky, 1959, pp. 137-138):

Una lengua es una colección de frases de longitud finita, todas construidas a partir de un alfabeto finito (o, cuando nuestra preocupación se limita a la sintaxis, de un vocabulario finito) de símbolos. Dado que cualquier lenguaje L en el que podamos interesarnos es un conjunto finito, podemos investigar la estructura de L sólo a través del estudio de los dispositivos finitos (gramáticas) que son capaces de

enumerar sus frases. Una gramática de L puede ser considerada como una función cuyo rango es exactamente L. Tales dispositivos han sido nombrados como «gramáticas generativas de oraciones». Una teoría del lenguaje contendrá, entonces, una especificación de la clase F de las funciones desde las cuales se pueden extraer las gramáticas de lenguas en concreto. La condición «más débil» es aquella en la que podemos colocar, significativamente, las gramáticas que F incluye en la clase de máquinas conocidas como, «de Turing» sin restricciones generales. La condición «más fuerte» y más limitante es aquella en la que se ha sugerido es que cada gramática es una fuente finita de Markov (autómata finito).¹

En este texto, al encontrarnos con palabras como «lenguaje», «gramática», «alfabeto», etc., podemos caer en el equívoco común de creer que Chomsky está refiriéndose al campo habla de lingüística únicamente. Sí, lo hace; pero la mayor parte de sus primeros textos –los que están inscritos en el periodo conocido como «teoría estándar» que comprende el final de los cincuenta y la década de los sesenta– también están inscritos en el aparato teórico de la «teoría de autómatas».

Esa es, en mi opinión, uno de los principales problemas que existe al interior de la lingüística al acercarse a Chomsky: utiliza términos transdisciplinarios que, al ser traducidos de un campo de estudio al otro, no son equivalentes².

Esto ha creado una confusión y una serie de críticas mal entendidas hacia cuestiones como «dispositivo», «órgano», «lenguaje», «gramática», «parámetro» y muchos más que en la «teoría de autómatas» significan una cosa, pero en lingüística –o en otras disciplinas, como la biología– significan otra.

Hay que recordar que para Chomsky, su objetivo principal no era el estudio de las lenguas naturales, sino la descripción de cualquier «lenguaje» –entendido desde la teoría de autómatas– como podemos ver en su artículo «*The Algebraic*

¹«A language is a collection of sentences of finite length all constructed from a finite alphabet (or, where our concern is limited to syntax, a finite vocabulary) of symbols. Since any language L in which we are likely to be interested is an infinite set, we can investigate the structure of L only through the study of the finite devices (grammars) which are capable of enumerating its sentences. A grammar of L can be regarded as a function whose range is exactly L. Such devices have been called “sentence-generating grammars.” A theory of language will contain, then, a specification of the class F of functions from which grammars for particular languages may be drawn. The weakest condition that can significantly be placed on grammars is that F be included in the class of general, unrestricted Turing machines. The strongest, most limiting condition that has been suggested is that each grammar be a finite Markovian source (finite automaton).» *La traducción es mía*.

²Esto se suma al hecho de que Chomsky, por alguna razón, tiende a tener una redacción demasiado «oscura», da por sobreentendidas muchas cuestiones que él expone y, además, siempre utiliza el término «menos adecuado» –aquél con mayor carga semántica o aquel que se usa en otra disciplina con otro sentido– para sus formulaciones.

Theory of Context-Free Languages» (Chomsky y Schutzenberger, 1963, pp. 122-123) donde se inicia el desarrollo de su famosa «jerarquía de lenguajes»:

Aunque las gramáticas CF [context-free] están lejos de ser totalmente suficientes para las lenguas naturales son, sin duda, adecuadas para la descripción de las lenguas artificiales conocidas y, por lo visto, para la descripción de algunos, y tal vez todos, los lenguajes de programación. En particular, una gramática CF se puede escribir para ALGOL, y cada programa en el ALGOL será una de las cadenas terminales generadas por esta gramática. Claramente, un lenguaje de programación debe ser inequívoco. Por lo tanto, es importante para determinar si, de hecho, un lenguaje de programación en particular cumple con esta condición, o si un conjunto infinito particular de programas puede ser cada uno no-ambiguo, dadas ciertas técnicas para la construcción de ellos (*p. ej.*, técnicas que pueden ser representadas como reglas para la construcción de derivaciones en una gramática CF).³

Uno de los objetivos clásicos de la investigación chomskiniana era la sintaxis en un «amplio espectro» que no sólo englobaba el estudio de las lenguas naturales, sino de todo tipo de lenguajes, incluidos los de computación. Esto seguía la conjetura de la inteligencia artificial «débil» que postula la idea de que, al estudiar la sintaxis de una «máquina», se puede arrojar luz sobre la sintaxis «mental». Al respecto hablaré mas en el siguiente capítulo.

Como podemos observar, la base por la cual la gramática generativa explica el funcionamiento general de la sintaxis es por medio de la teoría de autómatas –o teoría de la computación–. Hay que tener en cuenta que ninguno de estos modelos representa realmente la realidad del lenguaje. El lenguaje humano no tiene una estructura evidente, pero la gramática generativa –dentro de su marco teórico– ha utilizado la teoría de la computación para dar cuenta de los fenómenos de lengua con suficiencia y para demostrar la forma en la que algunos fenómenos sintácticos suceden.

³«Though CF grammars are far from fully sufficient for natural languages, they are certainly adequate for the description of familiar artificial languages, and apparently for the description of certain, perhaps all, programming languages. In particular, a CF grammar can be written for ALGOL, and each program in ALGOL will be one of the terminal strings generated by this grammar. Clearly, a programming language must be unambiguous. Therefore, it is important to determine whether, in fact, a particular programming language meets this condition, or whether a particular infinite set of programs can each be unambiguous, given certain techniques for constructing them (e.g., techniques that can be represented as rules for constructing derivations in a CF grammar).» *La traducción es mía*.

Sin embargo, estas cuestiones no son siempre evidentes. ¿A qué se refiere Chomsky con «gramática»? No me refiero a la idea generativista de la gramática como «el conjunto de reglas en el Lenguaje-I», sino a la misma cuestión en la «teoría de autómatas» para resolver el conflicto teórico-terminológico.

En este capítulo revisaré de manera extremadamente básica los conceptos de la teoría de autómatas o de computación que se extrapolaron por medio del generativismo a la lingüística. La relevancia de esto es que el modelo que presento en este trabajo está inscrito en el marco del «programa minimalista» el cual busca retomar la «coherencia matemática» y también la «coherencia biológica».

2.1. Lenguajes, gramáticas y autómatas

2.1.1. El Acertijo MU de Hofstadter

En el libro «Gödel, Escher, Bach: un eterno y grácil bucle», Hofstadter (2007, pp. 38-47) plantea un problema para introducir al lector en los sistemas formales. Este conocido problema llamado «Acertijo MU» plantea la generación de cadenas por medio de una serie de reglas dadas.

El acertijo es muy sencillo pero su funcionamiento no lo es tanto. Aunque Hofstadter lo expone con otros objetivos, concuerdo en que es un buen punto de inicio para entender cómo es que funcionan los sistemas formales y, por extensión, cómo es que funcionan los autómatas y las gramáticas generativas. Además, la respuesta al acertijo –o el intentar resolverlo tan siquiera– invita a la reflexión acerca de los fundamentos de las matemáticas así como otras cuestiones trascendentales como, en este caso, el funcionamiento de la sintaxis⁴.

Hofstadter nos presenta un sistema formal –o «sistema de producción de Post» –detallado en el artículo «*Recursively enumerable sets of positive integers and their decision problems*», Post y cols. (1944)– que fue formulado por el matemático Emile Post en la década de los veinte del siglo pasado (Hofstadter, 2007, p. 38), el cual sienta las bases de lo que sería el primer generativismo.

Este «acertijo» consiste en imaginar un sistema de reglas, el cual llamaremos «sistema MIU». Dicho sistema emplea tres letras del alfabeto: M, I, U . Es decir, pensado desde un punto de vista lingüístico, hay que imaginar un lenguaje que sólo consiste en tres *formas* –cada quien puede imaginar si se trata de palabras, fonemas, letras o símbolos– las cuales forman cadenas que consisten únicamente en esos tres símbolos de la siguiente manera:

⁴Por ello, es un buen ejercicio intentar resolver el «Acertijo MU» para entender toda esta tesis.

MUIIUUMUI
MMUUIIUUU
IUM
UM
I
MUUIIUUUMMUI

Una *cadena*, en este sentido, sería cualquier secuencia de letras –o, mejor dicho, «símbolos»– unidas en forma lineal, yuxtapuestas.

Una cadena (a veces llamada palabra) es una secuencia finita de símbolos pertenecientes a un alfabeto. Por ejemplo, 01101 es una cadena del alfabeto binario $\Sigma = \{0, 1\}$. La cadena 111 es otra cadena de ese alfabeto. (Hopcroft, Motwani, y Ullman, 2002, p. 32)

Una vez que el lector ha comprendido el sistema formal MIU, se le plantean una serie de reglas de reescritura para poder «jugar». Es decir, estas cadenas son mutables por medio de reglas que mantienen la regularidad del sistema.

Serán establecidas determinadas reglas, cuya aplicación permitirá transformar una cadena en otra distinta. Si alguna de tales reglas es utilizable en cierto momento, y se desea aplicarla, no hay inconveniente en hacerlo, pero no habrá nada que indique cuál regla es la adecuada en caso de que sean varias las utilizables. Es necesario optar, y en ello consiste la práctica del juego a través del cual todo sistema formal puede llegar a asemejarse a un arte. El requisito principal, obviamente, es que no se debe proceder al margen de las reglas. «Requisito de Formalidad», podemos llamar a esta limitación, que probablemente no deba ser subrayada en el transcurso de este capítulo; sin embargo, y por extraño que parezca, predigo que cuando juegue con algunos sistemas formales de los capítulos siguientes, el lector descubrirá que está violando repetidas veces el Requisito de Formalidad, excepto si ha trabajado anteriormente con sistema formales. (Hofstadter, 2007, p. 38)

Para poderlo comprender mejor, consideramos ciertas reglas de reescritura del español:

- En español, el plural se marca con el sufijo -s. Sin embargo, a veces aparece con el alomorfo -es. ¿Qué regla se puede establecer acerca de la alternancia entre -s y -es?

- En español, cuando se realiza un préstamo desde el inglés de una palabra que inicia con *s-* –como *status* o *streaming*– ¿qué regla de reescritura opera al «españolizarla»?

El concepto de «regla» es básico para comprender el Acertijo MU y éste capítulo en general. Ahondaré poco a poco en ese concepto. Por ahora, revisemos las reglas de reescritura –o «reglas de producción»– de Hofstadter (2007, p. 40-41) para el «sistema MUI» :

REGLA I: Si se tiene una cadena cuya última letra sea I, se le puede agregar una U al final.

[...]

REGLA II: Supongamos que se tenga Mx. En tal caso, puede agregarse Mxx a la colección.

[...]

REGLA III: Si en una de las cadenas de la colección aparece la secuencia III puede elaborarse una nueva cadena sustituyendo III por U.

[...]

REGLA IV: Si aparece UU en el interior de una de las cadenas, está permitida su eliminación.

Las reglas son bastante sencillas. Si tenemos una cadena UI, al aplicar la Regla 1 tendríamos una nueva cadena UIU. Si hay una cadena MUI, al utilizar la Regla 2 tendríamos MUIUI. Si aparece una cadena UUMIIIU, terminaríamos con la cadena UUMUU al usar la Regla 3 y, en seguida, nos quedaríamos con una cadena M al aplicar la Regla 4.

Hofstadter, entonces, introduce otro concepto básico: *teorema*.

[Las cadenas «nuevas»] generadas mediante el empleo de las reglas, se llaman *teoremas*. El sentido del término «teorema» es, aquí, por completo diferente al que es común en el ámbito de la matemática, que llama de ese modo a las afirmaciones formuladas en lenguaje corriente cuya veracidad ha sido probada por medio de una demostración rigurosa; por ejemplo, el Teorema de Zenón sobre la «ultrainexistencia» del movimiento, o el Teorema de Euclides acerca de la infinitud de los números primos. En los sistemas formales, en cambio, no hay necesidad de considerar los teoremas como afirmaciones: son, simplemente, cadenas de símbolos y, por otra parte, en lugar de ser demostrados, sólo son producidos, como si los elaborara una máquina con arreglo a determinadas reglas tipográficas. (Hofstadter, 2007, p. 41)

Hofstadter distingue entonces entre *Teorema* y *teorema*. Cada una de las secuencias derivadas por las reglas de reescritura serían un *teorema*. Si tenemos una secuencia inicial como MIIIU, mediante la aplicación de reglas de reescritura tendríamos

$$MIIIU > MIIIUIIU > MUUUU > M$$

Las últimas tres transformaciones son *teoremas* con una cadena inicial. Esa cadena inicial recibe, en este caso, el nombre de *axioma*.

Este teorema «gratuito» es un axioma; se repite ahora el caso de que el significado técnico difiere por completo del significado habitual. Un sistema formal puede tener cero, uno, varios o inclusive infinitos axiomas; en el curso de este libro aparecerán ejemplos de todas estas variantes. (Hofstadter, 2007, p. 42)

El axioma –por lo menos en este ejemplo ilustrativo– es la cadena inicial de la cual se derivarán varios teoremas por medio de las reglas de producción –o reescritura–.

$$\frac{MIIIU >}{\text{Axioma}} \quad \frac{MIIIUIIU > MUUUU > M}{\text{Teoremas}}$$

Una vez planteado esto, Hofstadter invita a resolver el Acertijo MU a su lector: *Si tenemos un axioma MI, ¿es posible obtener MU al aplicar las reglas?* (Hofstadter, 2007, p. 41)

En resumen, el Acertijo MU puede representarse así (Hofstadter, 2007, p. 304):

SÍMBOLOS: M, I, U

AXIOMA: MI

REGLAS:

I. Si xI es un teorema, también lo será xIU.

II. Si Mx es un teorema, también lo será Mxx.

III. En cualquier teorema, III puede ser reemplazado por U.

IV. UU puede ser suprimido en cualquier teorema.

¿Es posible obtener un teorema MU con esto?

Es decir, por medio de una serie de derivaciones, ¿es posible lo siguiente?:

$$MI > \dots > MU$$

Es interesante pensar en cuál es el mejor método de resolver este problema. Posiblemente una de las que cualquier persona comienza a realizar es seguir las reglas de reescritura de manera que intenta –a la manera de un laberinto– «generar» todas las posibles cadenas que lleven a MU hasta dar cuenta de si MU pertenece o no al conjunto de las cadenas generadas por el axioma MI.

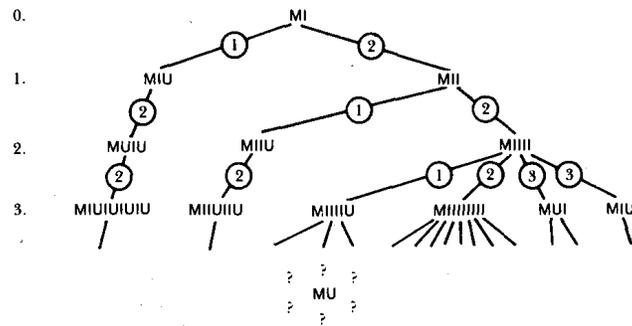


Figura 2.1: Árbol de decisiones que se pueden seguir al usar las «reglas de reescritura» de las cadenas del axioma MI para buscar la cadena MU. Tomado de Hofstadter (2007, p. 47)

Hay que tener en cuenta que lo importante no es resolver el problema, sino lo que se encuentra al intentar resolverlo.

Lo importante de todo esto es saber si la gramática del «Acertijo MU», con un axioma MI dado puede generar MU.

Es decir, queremos resolver si $MU \in L(G)$ o no. O, dicho en términos lingüísticos, ¿*MU es gramatical?*

La forma en la que Hofstadter propone la resolución del Acertijo MU es por medio de reglas de reescritura. Sin embargo, ¿*qué sucedería con una operación de ensamblaje diferente?* Si tuviéramos una función que uniera elementos de M, I, U sin restricciones, de tal manera de que pudiéramos obtener MU , ¿aún seguiríamos pensando que MU es «gramatical»?

2.2. Nociones básicas

Cualquier persona que sepa algo de álgebra, teoría de conjuntos y lógica no tendrá problema en identificar el funcionamiento de un *autómata* o una *gramática*. Sin embargo, yo comenzaré desde los conceptos más básicos para que el análisis de próximos capítulos sea lo más explícito y transparente posible –situación en la que fallan muchas de las explicaciones a los sistemas matemáticos dentro de la lingüística–. Posiblemente esto parezca innecesario, pero ayudará para la lectura de conceptos más complejos.

Mi argumentación sigue la línea trazada por el primer capítulo de «*An introduction to formal languages and automata*» de Linz (2011) el cual es una de las

explicaciones más claras y fáciles –y también la más exhaustiva– entre las que pude revisar⁵.

También me apoyo mucho en algunos de los conceptos del capítulo uno de «Introducción a la teoría de autómatas» de Malpica Velasco (1998). Ambos manuales son de gran ayuda, en especial para los humanistas que poco o nada sabemos sobre el tema.

Es importante recalcar que muchos de los términos que aparecerán aquí tienen su correferente con términos muy comunes en lingüística. Cuando aparezcan cuestiones como «símbolo», «gramática», «alfabeto», etc. *NO* deben entenderse desde el punto de vista del estudio del lenguaje.

2.2.1. Conceptos fundamentales

2.2.1.1. Elemento

Comencemos con el concepto de *elemento* o *símbolo*:

Un elemento o símbolo es la parte más pequeña e indivisible de un conjunto que se utiliza para construir un lenguaje. (Malpica Velasco, 1998, p. 1)

Un elemento puede ser simplemente *a* o *b* ; también *0* o *1*, incluso como <perro> o <gato> sin que estén relacionados con el referente de ese ítem léxico: son tan solo «componentes» de un conjunto en el universo.

Un símbolo es, entonces, cualquier elemento que se pueda agrupar dentro de un conjunto. Se considera que un símbolo «pertenece» a un conjunto si lo hemos definido así.

Los elementos, algunas veces –pero no como requisito fundamental–, tendrán cierta propiedad que los hace pertenecientes al conjunto. Por ello podemos tener conjuntos de números reales, de números primos, de letras del alfabeto, de animales mamíferos, etc.

Como veremos más adelante, un elemento también podría ser <sustantivo>, <verbo> o <preposición>. Sin embargo, tenemos que tener especial atención en esta declaración ya que, morfológicamente hablando, esos elementos son divisibles. Ésta sería una de las principales divisiones entre niveles de análisis entre la morfología y la sintaxis que, aunque se llegan a estudiar juntas – como «morfosintaxis»– en ciertos terrenos, persiguen objetivos diferentes.

⁵Recomiendo ampliamente este manual. Hay que tener en cuenta que la carrera de letras deja un vacío matemático difícil de subsanar. Puedo declarar que, sin ese manual, la mayor parte de los teoremas y demostraciones de la teoría de autómatas serían totalmente oscuras para mí.

2.2.1.2. Conjunto

Continuemos con la noción de *conjunto* [set] que se ha mencionado en la anterior definición con lo que menciona Linz (2011, p. 3)⁶:

Un conjunto (set) es una colección de elementos, sin otra estructura más que la de pertenencia. Para indicar que x es un elemento del conjunto S , escribimos $x \in S$. Para afirmar que x no se encuentra dentro de S , se escribe $x \notin S$. Un conjunto se puede especificar encerrando alguna descripción de sus elementos dentro de un par de llaves; por ejemplo, el conjunto de los enteros 0, 1, 2 se muestra como:

$$S = \{0, 1, 2\}$$

Entonces, un conjunto es una colección de elementos cuya relación es únicamente que pertenecen al grupo que hemos definido.

Una forma precisa de describir un conjunto sin mencionar explícitamente sus elementos es indicar una propiedad que caracterice a esos elementos. Por ejemplo, podría describirse:

$$B = \{x|x \text{ es un conjunto non no mayor a } 1\}$$

o

$$A = \{x|x \text{ es un entero de dos dígitos, cada uno de los cuales es } 1 \text{ o } 2\}$$

La notación « $\{x|x$ » al comienzo de ambas fórmulas usualmente se lee como «el conjunto de todas las x tales que»

Para especificar que x es un elemento del conjunto A , se escribe:

$$x \in A$$

(Martin, 2004, p. 3)

Por cuestiones meramente tipográficas, el símbolo de la barra «|» suele indicarse también con dos puntos «:» de la manera « $\{x : x \dots\}$ ».

Dentro de los conjuntos, suelen aparecer tres puntos «...» para indicar una elipse. Un conjunto escrito como $\{a, b, c, d, \dots, z\}$ indicaría que nos referimos a todas las letras del alfabeto (Linz, 2011, p. 3). Por el contrario, una elipse al final del conjunto indica que continua hasta el infinito: $\{2, 4, 6, \dots\}$.

⁶«A set is a collection of elements, without any structure other than membership. To indicate that x is an element of the set S , we write $x \in S$. The statement that x is not in S is written $x \notin S$. A set can be specified by enclosing some description of its elements in curly braces; for example, the set of integers 0, 1, 2 is shown as: $S = \{0,1,2\}$ » *La traducción es mía*

2.2.1.3. Operaciones usuales

Como se ha visto, los conceptos fundamentales están ligados a la *teoría de conjuntos*. Por ello, es necesario ver las operaciones básicas que usaremos.

El conjunto usual de operaciones son la *unión* (\cup), la *intersección* (\cap) y la *diferencia* ($-$) definidos como

$$\begin{aligned}S_1 \cup S_2 &= \{x : x \in S_1 \text{ o } x \in S_2\}, \\S_1 \cap S_2 &= \{x : x \in S_1 \text{ y } x \in S_2\}, \\S_1 - S_2 &= \{x : x \in S_1 \text{ y } x \notin S_2\}.\end{aligned}$$

Otra operación básica es la *complementación*. El complemento de un conjunto S , denotado por \bar{S} , consiste de todos los elementos que no se encuentran en S . Para hacer esto significativo, necesitamos cual es el *conjunto universal* U de todos los posibles elementos. Si U está especificado, entonces

$$\bar{S} = \{x : x \in U, x \notin S\}.$$

[...]

Se dice que el conjunto S_1 es un *subconjunto* de S si cada elemento de S_1 es un elemento de S . Se expresa así

$$S_1 \subseteq S.$$

Si $S_1 \subseteq S$ pero S contiene un elemento que no se encuentra en S_1 , podemos decir que S_1 es un *subconjunto propio* de S ; lo escribimos así

$$S_1 \subset S.$$

Si S_1 y S_2 no tienen elementos en común, es decir $S_1 \cap S_2 = \emptyset$, entonces los conjuntos son *disjuntos*.

Un conjunto se dice que es *finito* si contiene un número finito de elementos; de otra manera, es *infinito*. El tamaño de un conjunto infinito es el número de elementos en él. Se escribe $|S|$. (Linz, 2011, p. 4)⁷

La *unión* es el conjunto resultante cuando combinamos los elementos de dos conjuntos. Si tenemos un conjunto $A = \{1, 2, 4\}$ y un conjunto $B = \{2, 5, 6\}$, entonces:

⁷«The usual set operations are union (\cup), intersection (\cap), and difference ($-$) defined as

$$\begin{aligned}S_1 \cup S_2 &= \{x : x \in S_1 \text{ o } x \in S_2\}, \\S_1 \cap S_2 &= \{x : x \in S_1 \text{ y } x \in S_2\}, \\S_1 - S_2 &= \{x : x \in S_1 \text{ y } x \notin S_2\}.\end{aligned}$$

$$A \cup B = \{1, 2, 4, 5, 6\}$$

La *intersección* es el conjunto que resulta de los elementos que pertenecen tanto a un conjunto A como a uno B. Si $A = \{1, 2, 3, 4\}$ y $B = \{2, 4, 7, 8\}$, entonces:

$$A \cap B = \{2, 4\}$$

La *diferencia* es el conjunto formado por todos los elementos de A que no pertenecen a B. Si $A = \{1, 2, 3, 4\}$ y $B = \{2, 4, 7, 8\}$, entonces:

$$A - B = \{1, 3\}$$

En cuanto a los subconjuntos, Serrano (1988b, p. 12) en «Lógica, lingüística y matemáticas» indica que:

Elementos de un conjunto y subconjuntos de un conjunto, relaciones de pertenencia y de inclusión, representan relaciones de una parte al todo, pero son relaciones diferentes y es muy importante no confundirlas. Los subconjuntos, como su nombre lo indica, son siempre conjuntos, mientras que los elementos pueden serlo o no. Así, «Marcuse» es elemento del conjunto:

$$\{\text{Mao, Marx, Marcuse}\}$$

pero no es un subconjunto. En cambio el conjunto que contiene a Marcuse como único elemento

$$\{\text{Marcuse}\}$$

sí es subconjunto del anterior, y así en un caso tendremos

$$\text{Marcuse} \in \{\text{Mao, Marx, Marcuse}\}$$

y en otro

$$\{\text{Marcuse}\} \subset \{\text{Mao, Marx, Marcuse}\}$$

Another basic operation is *complementation*. The complement of a set S, denoted by \bar{S} consists of all elements not in S. To make this meaningful, we need to know what the universal set U of all possible elements is. If U is specified, then $\bar{S} = \{x : x \in U, x \notin S\}$.

[...]

A set S_1 is said to be a subset of S if every element of S_1 is also an element of S. We write this as $S_1 \subseteq S$. If $S_1 \subseteq S$, but S contains an element not in S_1 , we say that S_1 is a proper subset of S; we write this as $S_1 \subset S$.

If S_1 and S_2 have no common element, that is, $S_1 \cap S_2 = \emptyset$, then the sets are said to be disjoint. A set is said to be finite if it contains a finite number of elements; otherwise it is infinite. The size of a finite set is the number of elements in it; this is denoted by $|S|$.» *La traducción es mía.*

2.2.2. Cadena

Podemos definir una cadena como una secuencia de elementos.

Una cadena sobre un conjunto X es una secuencia finita de elementos de X . (Malpica Velasco, 1998, p. 1)

Las cadenas tienen longitud finita y sólo contienen elementos del conjunto al que pertenecen. Si tenemos un conjunto $A = \{a, b\}$, las cadenas que se podrán formar a partir de ese conjunto son:

$a, b, ab, aa, bb, ba, aab, aaa, bbb, baa, bbba, aaab, abab, \dots$

En caso de tener un conjunto $B = \{0, 1\}$, las cadenas generadas serían similares a las de la notación en código binario:

$0, 1, 10, 101, 110, 111, 1110, 1010101, 110010101, \dots$

En el caso de lo que nos compete, podemos imaginar un conjunto conformado por:

$A = \{\text{carne,perro,el,come}\}$

Lo cual daría, posiblemente y en cierta combinación, una cadena como:

elperrocomecarne

La longitud de una cadena es el número de elementos que contiene una cadena dada. Es decir, cuántos elementos contiene una cadena.

La longitud de la cadena w , denotada como $|w|$ es el número de símbolos en la cadena. (Linz, 2011, p. 17)⁸

es decir

La longitud de una cadena se define como el número de elementos en la cadena, o más formalmente como el número de aplicaciones del operador correspondiente para construirla cadena, se nota con el valor absoluto $|w|$. Si Σ contiene n elementos, entonces hay n^k cadenas de longitud k en Σ^* . (Malpica Velasco, 1998, p. 2)

⁸«The length of a string w , denoted by $|w|$, is the number of symbols in the string.» *La traducción es mía.*

2.2.2.1. Alfabeto

El alfabeto es, simplemente, la colección de elementos dentro del conjunto con el cual formamos cadenas.

Este puede ser el término que más se presta a confusión. Esto es debido a que los ejemplos se dan con secuencias de elementos de una sola letra –por convención, casi siempre son las primeras letras del abecedario–. En la «teoría de autómatas», el alfabeto no equivale a simplemente letras, sino que puede ser cualquier símbolo o *forma*: números, signos, palabras enteras e, incluso, oraciones enteras.

Entonces, el alfabeto, al estar compuesto de elementos o símbolos, no solo se refiere a letras «en solitario» –o a fonemas, que es otro de los errores comunes–. Un alfabeto puede estar compuesto de cualquier cosa del mundo.

Cadena nula

Podemos tener «conjuntos vacíos».

La cadena nula λ se define como la cadena que no tiene elementos.
(Malpica Velasco, 1998, p. 2)

Es decir, es una cadena –marcada con el símbolo λ – la cual no contiene ningún elemento.

Frecuentemente tendremos que referirnos a la cadena vacía [*empty string*] que es una cadena sin símbolos en lo absoluto. Se denota por el símbolo λ . Las siguientes relaciones simples

$$\begin{aligned} |\lambda| &= 0 \\ \lambda w &= w\lambda = w \end{aligned}$$

se aplican a toda w .(Linz, 2011, p. 17)⁹

2.3. «Lenguajes» en la teoría de autómatas

A partir de la propuesta de estudiar la sintaxis por medio de gramáticas generativas en «Estructuras sintácticas» de Chomsky (también conocido como «Chomsky 57»), inició la hipótesis de que ciertos mecanismos mentales, en especial los relacionados con la sintaxis de las lenguas naturales, podrían aprehenderse por medio de listados de reglas recursivas que se aplicaban por medio de un «autómata».

⁹«We will frequently need to refer to the empty string, which is a string with no symbols at all. It will be denoted by λ . The following simple relations $|\lambda| = 0$, $\lambda w = w\lambda = w$ hold for all w .» *La traducción es mía.*

Cuando el paradigma de la gramática generativa cambia al de «principios y parámetros», se elimina la idea de que la mente debe funcionar por reglas recursivas, pero se conservan unas pocas cuestiones de este «carácter formal» –por llamarlo de alguna forma– en la representación tipo arbórea y la teoría de la «X-barra».

Sin embargo, muchas de las teorías al interior de «principios y parámetros» –«movimiento», «teoría ϑ », «teoría del caso», etc.– que, en buena medida, logran representar y describir algunos de los fenómenos al interior de la oración se apartaron de la idea de «la sintaxis como autómatas». Esto sería uno de los factores para que se estableciera una nueva reforma con el «programa minimalista», el cual intenta ser más coherente en un contexto biológico-matemático.

El uso de «lenguajes», «gramáticas» y «autómatas» es un modelo utilizado en el procesamiento del lenguaje natural y la inteligencia artificial asociada a la lingüística computacional que compite ampliamente con modelos de creación de «redes neurales artificiales» y los de «reglas recursivas».

¿Cuál modelo es mejor para representar a la sintaxis de la mente humana, en forma artificial, en una computadora?

Discutiré esa cuestión en los siguientes capítulos. Por ahora me centraré en los fundamentos básicos en los que se basó la «teoría estándar» que motivaría el desarrollo de las primeras gramáticas generativas chomskinianas. Esto nos llevará también a entender qué es una «máquina de Turing» y un algoritmo lo cual es relevante para el modelo que estoy realizando.

2.3.1. Lenguajes

La definición de lenguaje en la teoría de la computación es muy diferente a las definiciones de lenguaje que podemos obtener de la lingüística:

Un lenguaje es simplemente un conjunto de cadenas que incluyen símbolos de un alfabeto. Esta definición incluye lenguajes familiares, como los lenguajes naturales y los de programación de alto nivel, así como los conjuntos aleatorios de cadenas no relacionados.

Antes de profundizar, sería útil considerar cómo es que tiene sentido conceptual un lenguaje como el español o el inglés, simplemente como un conjunto de cadenas, o incluso si ello tiene, en realidad, sentido. [...] escribir una secuencia de palabras en español no es lo mismo que redactar en español. Tendría sentido, hasta cierto punto, afirmar que el español es un conjunto de oraciones válidas. Puede afirmarse que la expresión «Más vale pájaro en mano» es un elemento del español y que la cadena «inquisición notación poner» no lo es.

[...]

Aunque a veces se habla de «palabras» en un lenguaje, debe tenerse en mente que si una palabra es una cadena que es elemento de un lenguaje, entonces una sola palabra incluye las reglas de sintaxis o gramática que caracterizan al lenguaje. (Martin, 2004, p. 28-29)

Un lenguaje, en este sentido, lo podemos ver como un subconjunto que contiene concatenaciones de cadenas de un alfabeto dado.

Un lenguaje sobre un alfabeto Σ es un subconjunto de Σ^* (Malpica Velasco, 1998, p. 3)

Un lenguaje es, en sí, un conjunto de símbolos donde $\Sigma \subseteq \Sigma^*$ pero la única restricción es $\Sigma = \{x | \lambda \notin x\}$, lo cual podemos llamar un *alfabeto*. Este alfabeto provee de los símbolos que formarán secuencias finitas de cadenas.

La forma más fácil de entenderlo es la siguiente. Pensemos en un par de símbolos cualesquiera como α y β . Si los incluimos en un conjunto el cual constituye el alfabeto $\Sigma = \{\alpha, \beta\}$. Si tenemos ese alfabeto, el «lenguaje» de ese alfabeto formaría cadenas:

$\alpha, \beta, \alpha\beta, \alpha\alpha\beta, \alpha\alpha\beta\beta, \alpha\alpha\alpha\beta\beta\beta\beta, \alpha\alpha\alpha\alpha\alpha\beta\beta\beta\beta\beta\beta, \dots$

pero nunca podría crear una cadena del tipo:

$\alpha\beta\delta$

ya que $\delta \notin \Sigma$. Tampoco podemos tener un lenguaje que genere cero cadenas de la misma manera.

«Esta definición es bastante amplia: cualquier conjunto de cadenas de un alfabeto Σ puede ser considerado *un lenguaje*».(Linz, 2011, p. 18)¹⁰

2.3.1.1. Concatenación

La operación general de cada lenguaje formal es la función o regla de *concatenación*. Peter Linz (2011, p. 16-17) indica que la operación de concatenación es la siguiente¹¹:

La concatenación de la cadenas w y la cadena v es la cadena que se obtiene al adjuntar los símbolos de v a la derecha de w si

¹⁰«This definition is quite broad; any set of strings on an alphabet Σ can be considered a language.» *La traducción es mía.*

¹¹«The concatenation of two strings w and v is the string obtained by appending the symbols of v to the right end of w , that is, if $w = a_1a_2\dots a_n$ and $v = b_1b_2\dots b_m$ then the concatenation of w and v , denoted by wv , is $wv = a_1a_2\dots a_nb_1b_2\dots b_m$ » *La traducción es mía.*

$$w = a_1a_2\dots a_n$$

y

$$v = b_1b_2\dots b_m$$

la concatenación de w y de v , denotada wv es:

$$wv = a_1a_2\dots a_nb_1b_2\dots b_m$$

A estas cadenas concatenadas se les llama *oraciones* –[*sentences*]– (Linz, 2011, p. 18). Esta es una de las cuestiones que pueden confundir más a un lingüista ya que, en «teoría de autómatas», el término oscila entre lo morfológico y lo sintáctico. Tanto así que las cadenas poseen *prefijos* y *sufijos*; en el caso del lenguaje con el alfabeto $\Sigma = \{\alpha, \beta\}$ las α son los prefijos y las β , los sufijos.

Por lo que podemos notar, parece una operación sencilla: juntar un elemento con otro. Sin embargo, la trascendencia de este hecho es que esta unión es recursiva. Malpica Velasco (1998, p. 3) indica que:

Ya que las cadenas son los elementos de un lenguaje debemos examinar las propiedades de las cadenas y las operaciones sobre ellas. La operación fundamental en la generación de cadenas es la concatenación que consiste en construir una nueva cadena a partir de otras dos, simplemente juntándolas.

[...] Hasta ahora la única operación que se ha definido que tiene que ver con la concatenación es la de añadir un sólo elemento a la derecha de una cadena. [...] la recursividad será la base y fundamento de (esto).

Algo que debemos tener en cuenta es que no es posible «cortar» las cadenas durante el proceso de concatenación. Concatenar las cadenas $\alpha\alpha$ y $\beta\beta$ por ningún motivo podría dar cadenas del tipo $\alpha\alpha\beta$ ni cadenas del tipo $\alpha\beta\beta$.

2.3.1.2. Lenguajes formales

Evidentemente, no se está hablando en este sentido de lenguaje «humano» o lenguaje «natural». Sin embargo, fue Chomsky durante el desarrollo de la «teoría estándar» que introdujo esta división entre lenguaje «formal» y lenguaje «natural». Esto fue decisivo para el desarrollo de la «jerarquía de Chomsky» –también conocida como *jerarquía Chomsky-Schützenberger*–.

Volvamos a la cita que había planteado al inicio de este capítulo en «*On certain formal properties of grammars*»(Chomsky, 1959, p. 137) donde:

Un lenguaje es una colección de oraciones de longitud finita las cuales son construidas por un alfabeto finito (o un «vocabulario finito» ya que nuestro interés se restringe a la sintaxis) de símbolos. Dado que cualquier lenguaje L en que estemos interesados es un conjunto infinito, podemos investigar la estructura de L sólo a través del estudio de los dispositivos finitos (gramáticas) que son capaces de enumerar sus frases.¹²

Con la explicación hasta el momento, comenzamos a ver la relación entre la teoría de autómatas y el discurso chomskiniano clásico. Chomsky, especialmente en sus primeros años esta hablando del término «lenguaje» en un sentido muy amplio: tanto en su aspecto lingüístico como en su aspecto formal.

Citando a Wittgenstein: «toda filosofía es crítica lingüística», es decir, el problema no es entender el objeto del mundo al que Chomsky se refiere, sino entender la palabra con la que él está refiriendo dicho objeto.

Aún faltan dos términos por dilucidar. «gramática» y «lenguaje». Sobre los dispositivos finitos conocidos como «gramáticas» hablaré más adelante. Centrémonos en «lenguaje» y veamos qué dice Chomsky y Schützenberger en «*The algebraic theory of context-free languages*» (1963, p. 118) al respecto:

Nos referimos a un «lenguaje» simplemente como un conjunto de cadenas en un conjunto finito de símbolos V llamado el vocabulario de la lengua.¹³

Comparemos estas definiciones con las de S. J. Russell y Norvig (2004, p. 899) en el libro «*Inteligencia artificial: un enfoque moderno*»:

Un lenguaje formal se define como un (posible infinito) conjunto de cadenas. Cada cadena es a su vez una concatenación de símbolos terminales, algunas veces llamados palabras.

Es decir, un «lenguaje formal» es un L donde $L = \{\Sigma : |\Sigma|\}$.

Este es un punto central para entender la gramática generativa. Chomsky no se dedica a estudiar la *lengua*, sino el *lenguaje* –para ponerlo en términos saussureanos que de alguna forma se retoman en la gramática generativa–. Para Chomsky,

¹²«A language is a collection of sentences of finite length all constructed from a finite alphabet (or, where our concern is limited to syntax, a finite vocabulary) of symbols. Since any language L in which we are likely to be interested is an infinite set, we can investigate the structure of L only through the study of the finite devices (grammars) which are capable of enumerating its sentences.» *La traducción es mía*.

¹³«By a language we will mean simply a set of strings in some finite set V of symbols called the vocabulary of the language.» *La traducción es mía*.

«*el Lenguaje*» –con mayúscula– y el concepto de «*lenguaje*» en la teoría de la computación son uno mismo; *estudia la potencialidad y no sus resultados*.

Eso es justo lo que convertiría a la gramática generativa en un eslabón de la «ciencia cognitiva» además de la lingüística –en detrimento del estudio del lenguaje «en uso», o «habla»–: *se estudian los mecanismos mentales y no los actos comunicativos*.

La gran diferencia entre una máquina y una persona en términos de lenguaje sería su «formalidad».

Los *lenguajes formales*, tales como la lógica de primer orden o Java, tienen definiciones matemáticas estrictas. Esto contrasta con los *lenguajes naturales*, tales como chino, danés, inglés y castellano, que no tienen definiciones estrictas y son usados por una comunidad de hablantes. (S. J. Russell y Norvig, 2004, p. 899)

2.3.1.3. Noción de «problema»

Al plantear el concepto de «lenguaje» en términos de la teoría de autómatas –es decir, en los lenguajes formales– no se busca hacer una «descripción» de las características de un lenguaje sino determinar si las cadenas generadas pertenecen a un lenguaje determinado.

La cuestión central está en la «generación de cadenas» y, por así decirlo, su *gramaticalidad*.

Al dar por hecho que L es un conjunto de cadenas, lo que tenemos que determinar es qué cadenas n no pertenecen al lenguaje planteado. Es decir, determinar si $L(n) = \{n : n \in L\}$ es verdadero.

Dicho en términos de la gramática generativa: *determinar si una oración es gramatical o no, por su pertenencia a un lenguaje*.

En la teoría de autómatas, un *problema* consiste en decidir si una determinada cadena pertenece a un determinado lenguaje. Resulta, como veremos, que cualquier cosa que llamemos «problema» de forma más coloquial, puede expresarse como una cuestión de pertenencia a un lenguaje. Más concretamente, si Σ es un alfabeto y L es un lenguaje de Σ , entonces el problema L es:

Dada una cadena w de Σ^* , decidir si w pertenece o no a L .

(Hopcroft y cols., 2002, p. 35)

Esto es relevante para la gramática generativa porque este será el esquema primitivo de lo que será la «*gramaticalidad o agramaticalidad*». Dicho esto, podemos

comenzar a notar que el acertijo MU –con el que inicié este capítulo– es un *problema de un lenguaje*¹⁴.

Sin embargo, para entender el mecanismo del acertijo MU y de lo propuesto por Chomsky, aún necesitamos un concepto aún más importante: la «gramática».

2.4. Gramáticas

El término «gramática» nos impone, de nuevo, una confusión terminológica –la cual puede ser aún mayor que lo que sucedía con «lenguaje»–. Coloquialmente, si le preguntamos a cualquier persona no asociada a los estudios lingüísticos, una «gramática» es un libro que indica –o así lo cree la mayoría de la gente– el uso correcto del lenguaje. Otras pocas veces –especialmente en el campo de las letras o la lingüística– se entiende una «gramática» como un documento que describe las características fonológicas y morfosintácticas de una lengua en específico.

En el campo de la lingüística, algunas corrientes consideran la *gramática* como el conjunto de reglas que los hablantes poseen respecto a una lengua.

En la teoría de autómatas –de donde partirá el generativismo–:

Una gramática G está definida como la cuádrupla:

$$G = (V, T, S, P)$$

donde V es un conjunto finito de objetos llamados *variables*,

T es un conjunto finito de objetos llamados *símbolos terminales*,

$S \in V$ es un símbolo especial llamado *variable inicial*,

P es un conjunto finito de *producciones*.

Se supondrá, sin mencionar, que los conjuntos V y T son disjuntos y no vacíos. (Linz, 2011, p. 21)¹⁵

Esto puede ser algo confuso, especialmente si tenemos en cuenta las otras acepciones. Las definiciones que habíamos dado de «gramática» son *a posteriori* mientras que esta última definición parece ser *a priori*.

Como ya había dicho –citando a Chomsky–, una gramática en términos matemáticos o de teoría de la computación es en realidad un «dispositivo» (Chomsky,

¹⁴Lo cual, si se toma de manera literal, puede ser muy irónico.

¹⁵«A grammar G is defined as a quadruple $G = (V, T, S, P)$, where V is a finite set of objects called variables, T is a finite set of objects called terminal symbols, $S \in V$ is a special symbol called the start variable, P is a finite set of productions. It will be assumed without further mention that the sets V and T are nonempty and disjoint.» *La traducción es mía*

1957;2004). Con esto no me refiero a un objeto físico, es decir, la noción de *dispositivo*¹⁶ no se refiere nunca a una máquina o a un objeto de la realidad –esto será especialmente útil al entrar en la concepción de «autómata», «órgano del lenguaje» y la «máquina de Turing»–.

Tomemos a «dispositivo» en un sentido teórico: es un mecanismo que *sólo existe en términos teóricos*. Para usar una terminología más pedestre, la «gramática», vista como un dispositivo, es en realidad un *mecanismo imaginario*.

La gramática es, por lo menos en las primeras versiones del generativismo, una notación natural recursiva en una clase más amplia de lenguajes: los «lenguajes independientes de contexto» (Hopcroft y cols., 2002, p. 182). Podemos pensar en las gramáticas como sistemas regidos por reglas específicas, las cuales tienen como propósito la generación de las cadenas de un lenguaje dado.

Si pensamos en las gramáticas desde el punto de vista de su función, por un lado podríamos examinar las cadenas de L y los problemas de L , por otro lado, podemos examinar el conjunto de reglas que producen las cadenas de L .

Como veremos más adelante, estos dos parámetros están intrínsecamente ligados al desarrollo del generativismo y la forma en la que describen las lenguas naturales.

La definición de las gramáticas como sistemas generativos se debe a Noam Chomsky, que las introdujo como instrumentos para modelizar la estructura gramatical de las lenguas. Uno de los modelos definidos por Chomsky fue el de las «gramáticas incontextuales», llamadas en inglés *context-free grammars*, a las cuales nos referiremos a menudo con las siglas CFG. Su uso en informática estuvo motivado por la necesidad de construir compiladores eficientes para lenguajes de programación, y en este ámbito su aparición va ligada a la del lenguaje ALGOL[...] (Muñoz y Villodre, 2001, p. 29)

¹⁶La traducción de Carlos-Peregrín Otero al español de «Estructuras sintácticas» nombra al concepto *device* como «ingenio». He traducido *device* como «dispositivo» ya que da cuenta con mayor precisión de aquello que quiere decir Chomsky con esta palabra: proviene del latín *disponere* que es «colocar, poner algo en orden y situación conveniente». Además, una acepción de «dispositivo» es «mecanismo o artificio para producir una acción prevista».

«Mecanismo» también podría ser una traducción pertinente.

En mi opinión –y la de muchos otros– las traducciones al español de la obra de Chomsky no se pueden considerar precisamente como «muy afortunadas». Si, ya de por sí, Chomsky no es un escritor que sea considerado como «muy transparente» o «que redacta muy bien» –hay que notar los eufemismos de esta nota– además, siempre se le traduce de una manera más «florida y filosófica» cuando requiere un poco de crudeza «matemática».

Ojalá, yo espero, que en algún momento se realice una revisión crítica a las traducciones en español de Noam Chomsky y se haga una nueva traducción a la luz de la teoría sintáctica actual.

Para precisar el concepto de gramática en estos términos, vamos a comenzar por entender la «gramática» como otro conjunto además del conjunto llamado «lenguaje». Estos dos conjuntos están relacionados en el sentido de que la gramática indica las reglas que se requieren para formar las cadenas del lenguaje. Estas reglas son llamadas «reglas de producción».

2.4.1. Reglas de producción

Las reglas de producción son aquellas que determinan cómo es que una cadena de L se transforma en otra, lo cual le otorga su poder generativo a las gramáticas. Linz (2011, p. 21) indica que¹⁷:

Las reglas de producción son el corazón de la gramática; ellas especifican cómo es que la gramática transforma una cadena en otra y, a través de este proceso, definen al lenguaje asociado con la gramática. En nuestro análisis, supondremos que todas las reglas de producción son de la forma

$$x \rightarrow y$$

donde x es un elemento de $(V \cup T)^+$ y y está en $(V \cup T)^*$. Las producciones se aplican de la manera siguiente: dada una cadena w de la forma

$$w = uxv$$

decimos que la producción de $x \rightarrow y$ es aplicable a esta cadena, y podemos usarla para reemplazar x con y , obteniendo de esta manera una nueva cadena

$$z = uyv$$

¹⁷«The production rules are the heart of a grammar; they specify how the grammar transforms one string into another, and through this they define a language associated with the grammar. In our discussion we will assume that all production rules are of the form $x \rightarrow y$ where x is an element of $(V \cup T)^+$ and y is in $(V \cup T)^*$. The productions are applied in the following manner: Given a string w of the form $w = uxv$ we say the production $x \rightarrow y$ is applicable to this string, and we may use it to replace x with y , thereby obtaining a new string $z = uyv$. This is written as $w \Rightarrow z$. We say that w derives z or that z is derived from w . Successive strings are derived by applying the productions of the grammar in arbitrary order. A production can be used whenever it is applicable, and it can be applied as often as desired. If $w_1 \Rightarrow w_2 \Rightarrow \dots \Rightarrow w_n$ we say that w_1 derives w_n and write $w_1 \overset{*}{\Rightarrow} w_n$. The $*$ indicates that an unspecified number of steps (including zero) can be taken to derive w_1 from w_n . By applying the production rules in a different order, a given grammar can normally generate many strings. The set of all such terminal strings is the language defined or generated by the grammar.» *La traducción es mía.*

Esto se escribe como

$$w \Rightarrow z$$

Decimos que w *deriva en* z o que z *se deriva* de w . Las cadenas sucesivas se obtienen mediante la aplicación de las producciones de la gramática en orden arbitrario. Una producción se puede utilizar siempre que sea aplicable, y se puede aplicar tantas veces como se desee. Si

$$w_1 \Rightarrow w_2 \Rightarrow \dots \Rightarrow w_n$$

decimos que w_1 deriva en w_n y escribimos

$$w_1 \overset{*}{\Rightarrow} w_n$$

El $*$ indica que un número no especificado de pasos (incluido el cero) puede ser tomado para derivar w_n de w_1 . Mediante la aplicación de las normas de producción en un orden diferente, una gramática dada puede normalmente generar muchas cadenas. El conjunto de todas estas cadenas terminales es la *lengua definida o generada* por la gramática.

más adelante, Linz (2011, p. 24) nos muestra¹⁸:

Considere la gramática

$$G = (\{S\}, \{a, b\}, S, P)$$

con P dado por

$$\begin{aligned} S &\rightarrow aSb \\ S &\rightarrow \lambda \end{aligned}$$

entonces

$$S \Rightarrow aSb \Rightarrow aaSbb \Rightarrow aabb$$

por lo que podemos escribir

$$S \overset{*}{\Rightarrow} aabb$$

La cadena $aabb$ es una oración en el lenguaje generado por G , mientras que $aaSbb$ es una forma de oración.

¹⁸«Consider the grammar $G = (\{S\}, \{a, b\}, S, P)$ with P given by $S \rightarrow aSb, S \rightarrow \lambda$. Then $S \Rightarrow aSb \Rightarrow aaSbb \Rightarrow aabb$ so we can write $S \overset{*}{\Rightarrow} aabb$. The string $aabb$ is a sentence in the language generated by G , while $aaSbb$ is a sentential form.» *La traducción es mía.*

Explicaré esto. Tenemos una gramática G la cual contiene en primer término un conjunto de variables. En este caso es $\{S\}$. Las variables será «lo que irá cambiando» en cada «paso» que de la gramática –en realidad, tendríamos que hablar de «estados»–. Estas variables, a veces se les llama «categorías sintácticas» (Hopcroft y cols., 2002, p. 183). Las variables representan conjuntos de cadenas.

En segundo término, está el conjunto de los símbolos terminales $\{a, b\}$. Este conjunto también se le llama «alfabeto» y forma las cadenas de los lenguajes que estamos definiendo (Hopcroft y cols., 2002, p. 183). En tercer lugar, tenemos el símbolo inicial –en este caso es S – el cual representa el lenguaje que se está definiendo (Hopcroft y cols., 2002, p. 183). Es decir, este símbolo define desde donde vamos a derivar. En último lugar está lo más importante: las reglas. En este caso están marcadas con el símbolo P . Hopcroft y cols. (2002, p. 183-184) dicen que:

[El] conjunto infinito de *producciones* o *reglas* que representan la definición recursiva de un lenguaje. Cada producción consta de:

a) Una variable a la que define (parcialmente) la producción. Esta variable a menudo se denomina *cabeza* de la producción.

b) El símbolo de producción \rightarrow .

c) Una cadena formada por cero o más símbolos terminales y variables. Esta cadena, denominada cuerpo de la producción, representa una manera de formar cadenas pertenecientes al lenguaje de la variable de la cabeza. De este modo, dejamos los símbolos terminales invariables y sustituimos cada una de las variables del cuerpo por una cadena que sabemos que pertenece al lenguaje de dicha variable.

Con esto, podemos entender más lo que sucede en el ejemplo

$$S \Rightarrow aSb \Rightarrow aaSbb \Rightarrow aabb$$

La gramática pone el símbolo inicial S el cual deriva en la variable rodeada de los terminales aSb . Este proceso se puede realizar recursivamente hasta que sustituimos la variable S por la cadena nula con lo que nos queda una cadena $aabb$.

Esto, en sí, es una *gramática independiente de contexto* –o *gramática generativa*–.

Consideremos el lenguaje de los palíndromos. Un palíndromo es una cadena que se lee igual de derecha a izquierda que de izquierda a derecha, como por ejemplo, otto o dabalearrozalazorraelabad («Dá-bale arroz a la zorra el abad»). Dicho de otra manera, la cadena w es un palíndromo si, y solo si, $w = w^R$. Para hacer las cosas sencillas, consideremos únicamente los palíndromos descritos por el alfabeto $\{0, 1\}$. Este lenguaje incluye cadenas del tipo 0110, 11011 y ε pero no cadenas como 011 o 0101. (Hopcroft y cols., 2002, p. 182)

Como podemos notar, este esquema se compone de un conjunto de elementos para combinar –el «alfabeto» que, más adelante, veremos que en lenguas naturales es el «léxico»–, un conjunto de reglas para la combinación de esos elementos, un mecanismo o dispositivo –«device»– que permite la generación de cadenas de esos elementos y, finalmente, un conjunto de las cadenas generadas –como veremos, equivaldrá a las «oraciones»– que contiene todas las cadenas posibles con esa gramática y ninguna que no pertenezca a ella.

La idea de una «gramática» como un conjunto de reglas –que Saussure ya había anticipado en su momento– prevalecerá por mucho tiempo tanto en la teoría de autómatas como en la lingüística por medio de la gramática generativa. En «Inteligencia artificial» de S. J. Russell y Norvig (2004, p. 899) nos aclaran:

Una gramática es un conjunto finito de reglas que especifican un lenguaje. Los lenguajes formales siempre tienen una gramática oficial, especificada en manuales o libros. Los lenguajes naturales tienen gramáticas no oficiales, pero los lingüistas se afanan en descubrir las propiedades del lenguaje por medio de un proceso de investigación científica y entonces poder codificar sus descubrimientos en una gramática. Hasta la fecha, ningún lingüista lo ha conseguido completamente. Obsérvese que los lingüistas son científicos, que intentan definir como es un lenguaje.

Siguiendo esta idea, esto fue lo que en los años cincuenta se consideró el cambio de paradigma en lingüística. Se intentó eliminar buena parte de la subjetividad del análisis estableciendo cierto control por medio de conceptos sacados de las matemáticas las cuales daban una pauta a seguir.

Podemos equiparar este desarrollo a la implementación de los métodos de análisis cuantitativo por medio de la estadística de William Labov en el campo de la sociolingüística los cuales dominan sobre otro tipo de análisis cuantitativos.

2.4.2. Representación gráfica en árbol

Si algo distingue la sintaxis elaborada en los últimos cincuenta años es la elaboración de gráficas de árbol para el análisis sintáctico¹⁹. Este sistema gráfico se le conoce como «X barra» o «X con barra» el cual fue desarrollado por Chomsky

¹⁹La sola mención de «diagramas de árbol» causa terror en el corazón de los estudiantes de sintaxis. Uno de los problemas de la sintaxis actual es que muchos lingüistas consideran que diagramar oraciones en forma de árbol es el fin *en sí*.

Es árbol es sólo una herramienta que nos permite establecer otras cuestiones al interior de la oración.

–siguiendo las enseñanzas de Zellig Harris– y fue perfeccionado por Ray Jackendoff.

En realidad, el sistema «X barra» procede de un sistema de graficación de gramáticas que ya se utilizaba en la «teoría de grafos».

Los *árboles* son un tipo particular de grafo. Un árbol es un grafo dirigido que no tiene ciclos y que tiene un vértice distinto, llamado «raíz»; de manera que hay exactamente un camino desde la raíz hacia cualquier otro vértice. Esta definición implica que la raíz no tiene aristas entrantes y que hay algunos vértices sin aristas salientes. Éstos se llaman las *hojas* del árbol. Si hay un borde a partir de un v_i hacia un v_j , entonces se dice que v_i es *padre* v_j ; y v_j es el hijo de v_i . El *nivel* asociado con cada vértice es el número de aristas en el camino desde la raíz hasta el vértice. La altura del árbol es el número más grande de nivel desde cualquier vértice. (Linz, 2011, p. 9)²⁰

Esto puede ser terriblemente confuso en forma de texto, pero cuando vemos el gráfico de Linz (2011), todo parece aclararse:

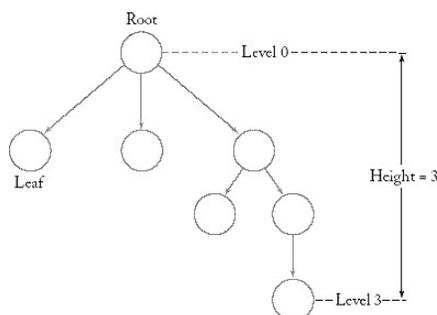


Figura 2.2: «Árbol ordenado». Tomado de Linz (2011, p. 9)

Como apunta Linz, este tipo de árboles son comunes y se pueden encontrar en cualquier manual de matemáticas discretas.

La representación arbórea nos sirve para representar las derivaciones de una gramática dada.

²⁰«Trees are a particular type of graph. A tree is a directed graph that has no cycles, and that has one distinct vertex, called the root, such that there is exactly one path from the root to every other vertex. This definition implies that the root has no incoming edges and that there are some vertices without outgoing edges. These are called the leaves of the tree. If there is an edge from v_i to v_j , then v_i is said to be the parent of v_j , and v_j the child of v_i . The level associated with each vertex is the number of edges in the path from the root to the vertex. The height of the tree is the largest level number of any vertex.» *La traducción es mía.*

Muñoz y Villodre (2001, p. 32-33) nos muestran cómo es que una gramática puede ser graficada por medio de un árbol. La gramática a la que se refieren en esta cita como «ejemplo 2.2» es la gramática $S \rightarrow aBS|bAS|\lambda; A \rightarrow bAA|a; B \rightarrow aBB|b$.

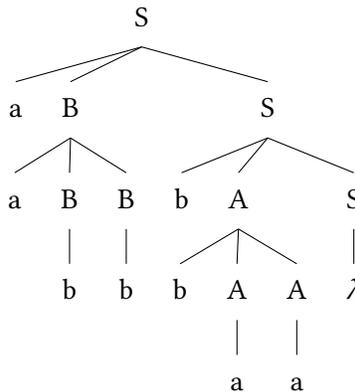
Consideremos una derivación cualquiera de la forma $A \Rightarrow^* \alpha$ donde A y α son, respectivamente, una variable y una cadena intermedia; consideremos la secuencia de derivaciones directas que constituyen la derivación considerada. Es muy útil representar esta derivación por medio de un árbol, de la manera siguiente:

1. La raíz del árbol tiene como etiqueta la variable A .
2. Cada nodo interno del árbol corresponde a alguna de las variables que son substituidas en el proceso de derivación. Así, si una derivación directa consiste en aplicar la producción $X \rightarrow \beta$, las etiquetas de los hijos del nodo que corresponde a esta variable X , leídas de izquierda a derecha, forman β .
3. El producto del árbol, es decir, la palabra formada por sus hojas de izquierda a derecha es α .

[... Aquí se] muestra el árbol asociado a una derivación de la palabra $aabbbbaa$, [...] Se trata de la derivación

$$S \Rightarrow aBS \Rightarrow aaBBS \Rightarrow aabBS \Rightarrow aabbS \Rightarrow aabbbbAS \Rightarrow aabbbbAAS \Rightarrow aabbbbbaAS \Rightarrow aabbbbbaaS \Rightarrow aabbbbbaa$$

[...]



Como podemos ver, una gramática puede ser graficada por medio de un árbol de derivación. Sin embargo, es ambiguo porque corresponde a dos derivaciones diferentes. Esto es interesante a nivel lingüístico ya que la ambigüedad de ciertas oraciones no puede ser representada por medio de árboles sintácticos bajo el sistema «X barra». Las oraciones con significado ambiguo, en las primeras versiones de la «gramática generativa» se consideraban fuera del estudio sintáctico ya

que pertenecían a un análisis semántico. Esto se ha intentado solucionar con los modelos «planos» del *programa minimalista*.

2.4.3. Vínculo con las lenguas naturales

Al definir estos conceptos de «lenguaje» y «gramática» al interior de la teoría de autómatas ya podemos comenzar a dilucidar cuales fueron los presupuestos teóricos con los cuales se estableció el generativismo y por qué se establecieron así algunos términos básicos para la lingüística de finales del siglo XX como «regla», «diagrama de árbol», «recursividad», «generación», «gramaticalidad», etc.

Es decir, el mérito de Chomsky fue identificar dos disciplinas en ciernes –la lingüística y las ciencias de la computación– y las logró vincular para explicar el objeto complejo de la adquisición del lenguaje y el funcionamiento del lenguaje dentro de la mente.

Si aún no es absolutamente claro cómo es que el concepto de la teoría de autómatas está vinculada al estudio de los lenguajes naturales, veamos el ejemplo que da Serrano (1988a, p. 230-231) dentro de «Elementos de lingüística matemática»:

Sea una gramática $\langle V, V_2, P, R \rangle$, con

$$V = \{el, una, payaso, escoba, rompió, compró, ayer \dots\}$$

$$V_2 = \{P, SN, SV, det, N, V, Adv\}$$

y siendo R el conjunto

$$R_1 P \rightarrow SN \ SV \ Adv$$

$$R_2 SN \rightarrow det \ N$$

$$R_3 SV \rightarrow V \ SN$$

$$R_4 det \rightarrow \{el, una, \dots\}$$

$$R_5 N \rightarrow \{payaso, escoba, \dots\}$$

$$R_6 V \rightarrow \{rompió, compró, \dots\}$$

$$R_7 Adv \rightarrow \{ayer\}$$

Esta gramática generará la frase

«el payaso rompió una escoba ayer»

En efecto:

(1)	P	Ax
(2)	SN SV Adv	R1
(3)	det N SV Adv	R2
(4)	det N V SN Adv	R3
(5)	det N V det N Adv	R2

- | | | |
|------|----------------------------------|----|
| (6) | el N V det N Adv | R4 |
| (7) | el payaso V det N Adv | R5 |
| (8) | el payaso rompió det N adv | R6 |
| (9) | el payaso rompió una N adv | R4 |
| (10) | el payaso rompió una escoba Adv | R5 |
| (11) | el payaso rompió una escoba ayer | R7 |

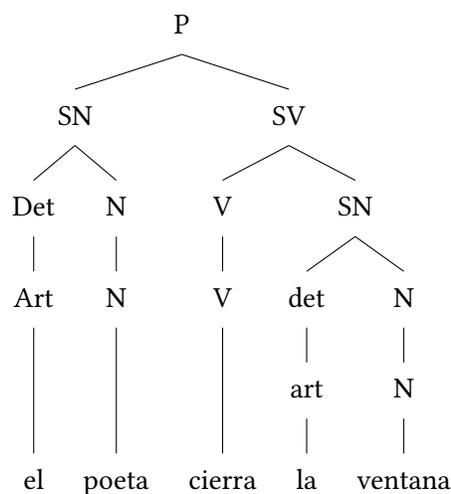
Por otro lado, estamos acostumbrados a las representaciones arbóreas en sintaxis tanto que parecería –e incluso algunos creen– que dibujar el árbol de una oración es el fin último del análisis sintáctico.

Sin embargo, la representación arbórea es una forma visual de entender qué es lo que sucede al analizar una oración con los presupuestos teóricos con los que la abordemos. Tanto así que un árbol del *programa minimista* es absolutamente diferente a uno bajo la *teoría de principios y parámetros*, la cual, a su vez es absolutamente diferente a la representación de la *teoría estándar*.

Como vimos, las representaciones arbóreas proceden de la forma de graficar dentro de la teoría de autómatas. Es un grafo para representar una gramática. En su otro libro, «Lógica, lingüística y matemáticas», Serrano (1988b, 128-130) nos explica que ambas disciplinas comparten una misma representación de árbol:

Estamos acostumbrados, hoy, en lingüística, al uso de diagramas, y sobre todo de diagramas en forma de árbol. El árbol es un buen indicador de la estructura, en constituyentes, de una frase.

Así, por ejemplo:



este árbol es un diagrama que nos proporciona tres clases de información:

- 1) los grupos jerárquicos, como partes de la frase
- 2) la clase gramatical de cada constituyente
- 3) el orden de los constituyentes

[...]

Todo árbol está compuesto de *nudos* o *módulos*, conectados por líneas llamadas *ramas*. Cada nódulo va *rotulado*, es decir, asociado a un rótulo elegido entre un conjunto finito de categorías gramaticales (P, SN, SV,...) y elementos terminales (de la lengua), (el, poeta, cierra, ...).

Un árbol es un tipo de diagrama o grafo que como primera condición tiene la de no poseer *ciclos*. Un grafo decimos que posee ciclos si existen nudos a_1, a_2, \dots, a_n tales que a_1, a_2, \dots, a_{n-1} son nudos distintos $a_n = a_1$ y $(a_1, a_2), (a_2, a_3) \dots$, son líneas en el diagrama. Los nudos a_1, a_2, \dots, a_n y las líneas conectoras forman el *ciclo*. Un árbol, en principio, es un grafo o diagrama no orientado (las líneas no están orientadas) que no posee ciclos. [...]

Una segunda condición es la de que un árbol debe tener una sola raíz, es decir, un nudo que *domine* todos los otros nudos. En general, diremos que un nudo a_1 domina a un nudo a_n si existe una secuencia de ramas conectadas que tiene su origen en a_1 y su final en a_n . Así, en nuestro ejemplo, el nudo rotulado *SV* domina el rotulado *art*, en cambio el rotulado *SN* no domina el rotulado *V*. Dado un diagrama, podemos representar el hecho de que x domina y por el par ordenado (x, y) . El conjunto de todos los pares ordenados, para un árbol dado, constituye la *relación de dominancia*. Evidentemente la dominancia es transitiva, reflexiva y antisimétrica por lo que podemos afirmar que ordena parcialmente los nudos de un árbol. Al elemento mínimo de esta relación de dominación, que como condición debe ser único, le llamamos *raíz* [...], y a los elementos máximos, *hojas*[...].

En matemáticas la palabra árbol se puede utilizar en el sentido de diagrama, sin ciclos, con varias raíces. En lingüística sólo la usamos en el sentido de que posee una sola raíz.

2.5. Autómatas

Durante la explicación anterior me referí en varios momentos a los «autómatas». Esta palabra está cargada de significado de manera que nos hace difícil entender, en un principio qué es un «autómata» en la teoría de autómatas.

Cuando una persona sin vínculo con las matemáticas, las ciencias de la computación o afines escucha la palabra «autómata», piensa, casi en automático, en una especie de *robot rudimentario y mecánico*.

Lo cierto es que ese tipo de autómatas son recurrentes a lo largo de la historia de la literatura fantástica. En «Las mil y una noches» se habla de autómatas que pueden cantar o hacer prodigios. Allan Poe escribió sobre un autómata ajedrecista²¹ y además de otros autores que han introducido autómatas a sus relatos como H. G. Wells, Christopher Priest o Isaac Asimov. Pareciera ser que *robot, androide y autómata* se encuentran dentro del mismo campo semántico y comparten rasgos como [\pm mecánico] o [\pm forma humana].

Sin embargo –y para decepción de muchos– cuando nos referimos a «autómata» dentro de la teoría de autómatas nos referimos a una máquina de tipo teórico que, aunque puede llevarse a la realidad, como sucedió con las computadoras actuales, cuya concepción es en el plano abstracto.

Uno de los autómatas más reconocidos²² fue la llamada «máquina de Turing» la cual, en realidad, dio pie a la creación de la computación tal y como la conocemos. Alan Turing no solo no recibió crédito alguno por su creación –eran «secretos de guerra» en ese tiempo– sino las leyes de su tiempo lo orillaron al suicidio.

Hopcroft y cols. (2002, p. 1) en «Introducción a la teoría de autómatas, lenguajes y computación», nos indican qué es un autómata y cual es su relevancia para nosotros.

La teoría de autómatas es el estudio de los dispositivos de cálculo abstractos, es decir, de las «máquinas». Antes de que existieran las computadoras, en la década de los años treinta, A. Turing estudió una máquina abstracta que tenía todas las capacidades de las computadoras de hoy en día, al menos en lo que respecta a lo que podían calcular. El objetivo de Turing era describir de forma precisa los límites entre lo que una máquina de cálculo podía y no hacer; estas conclusiones no sólo se aplican a las *máquinas abstractas de Turing*, sino a todas las máquinas reales actuales.

²¹Lo cual es una realidad en nuestros días con la supercomputadora Deep Blue que venció al ajedrecista de clase mundial Gary Kasparov .

²²Lamentablemente, el reconocimiento no llegó sino muchos años después de la muerte de Alan Turing quien se suicidó debido a la castración química que se le impuso como castigo por su homosexualidad según las leyes británicas de su tiempo.

En las décadas de los años cuarenta y cincuenta, una serie de investigadores estudiaron las máquinas más simples, las cuales todavía denominamos «autómatas finitos». Originalmente, estos autómatas se propusieron para modelar el funcionamiento del cerebro y, posteriormente, resultaron extremadamente útiles para muchos otros propósitos[...]. También a finales de la década de los cincuenta, el lingüista N. Chomsky inició el estudio de las gramáticas formales. Aunque no son máquinas estrictamente, estas gramáticas están estrechamente relacionadas con los autómatas abstractos sirven como base de algunos importantes componentes de software, entre los que se incluyen componentes de los compiladores.

Existen por lo menos tres razones claras por las que me detendré a explicar qué es un autómata, a pesar de que pareciera ser que con la explicación de las «gramáticas» era suficiente para avanzar.

La primera razón es que el modelo cognitivo del que abrevan las corrientes de la gramática generativa considera a la mente humana como un autómata. Es decir, el modelo teórico que aporta la idea de que la mente es una unidad de procesamiento –la cual no «funciona» por medio de reflejos o condicionamiento– procede directamente de la teoría de autómatas. Para el generativismo, dependiendo de su paradigma, la mente debe funcionar por medio de autómatas interconectados de manera orgánica²³.

La segunda razón es que el objetivo de esta tesis es demostrar justamente la idea anterior. Para ello, utilizaré una «mente electrónica que funciona con autómatas» para intentar representar cómo ocurre la sintaxis al interior de una mente «que funciona con autómatas» biológica.

La tercera cuestión es un asunto más sobre la estructura del objeto teórico que voy a crear. Si planteamos que la generación de lenguaje natural por medio de una computadora, teóricamente es un asunto que le compete a la inteligencia artificial. Se puede pensar que la inteligencia artificial lo que busca es que una máquina «piense» como un humano, lo cual no es así.

Estas cuestiones inscritas en el campo de la inteligencia artificial serán revisadas con mayor detalle en el siguiente capítulo.

Por ahora, lo importante es realizar la pregunta amplia *¿la mente humana funciona como las computadoras o las computadoras funcionan, en realidad, como la mente humana?*

Son dos objetos muy dispares y, aunque podamos encontrar similitudes, la mente humana y las máquinas parecen, a simple vista, dos objetos muy diferentes:

²³De allí que se llame «órgano del lenguaje».

uno puede generar ideas o aprehender el mundo lo cual las computadoras no pueden hacerlo; otro puede hacer cálculos gigantescos –como factorizar dos números primos grandes– o procesar grandes corpus de texto en segundos, cosa que los humanos no podemos hacer.

Sin embargo, al inicio de la computación –estoy hablando de la segunda guerra mundial– las computadoras eran una simulación rudimentaria de la mente humana. Año con año siguen avanzando tecnológicamente pero, en esencia, aún son un reflejo de la conceptualización teórica que tenemos de «procesamiento».

Entonces, crear una simulación de lenguaje requiere puntos en común entre la *mente biológica* y la *electrónica*. Bajo el presupuesto teórico de la gramática generativa, ese punto en común son los autómatas.

Dicho esto, veamos qué es un autómata.

2.5.1. Autómatas de estados finitos

Un autómata es un modelo abstracto, teórico, el cual explica el funcionamiento de una máquina, potencialmente. Existe otra forma de explicar el mecanismo de funcionamiento de una máquina: *el cálculo lambda*. Hablaré de eso más adelante.

Entonces, aunque el funcionamiento teórico de un autómata pueda llevarse al plano físico, todo autómata es independiente de su soporte material debido a su carácter abstracto.

Los autómatas también se definen porque tienen una entrada de datos –*input*– los cuales se procesan por funciones en su interior para arrojar una salida de datos –*output*–.

Malpica Velasco (1998, p. 65) en su «Introducción a la teoría de autómatas» explica:

Generalmente se entiende por autómata un dispositivo electromagnético que convierte información en otro tipo de acuerdo a un procedimiento definido, donde el ordenador moderno representa su más claro exponente.

Los componentes de un autómata son los materiales típicos y específicos de cualquier dispositivo electrónico, tales como cables, transistores, relés, condensadores, etc., el funcionamiento está basado en la mecánica y electrónica de estas partes. Sin embargo, los principios de su funcionamiento, como secuencia de estados discretos, puede entenderse independientemente de la naturaleza o disposición de sus componentes. Por lo tanto, un autómata puede considerarse, abstractamente, como un conjunto de estados, de reglas de transición entre dichos estados y de entradas y salidas. Hay autores que utilizan los

nombres de máquina y autómata como sinónimos, en general nosotros reservaremos el nombre de máquina para los dispositivos físicos a los que hacíamos referencia al inicio, y de autómata para el concepto abstracto.

[...]

Un autómata se puede definir como una entidad lógica que puede convertirse en una máquina que implemente las realizaciones teóricas. El término autómata designa más el nivel teórico que el físico, en la construcción de la máquina.

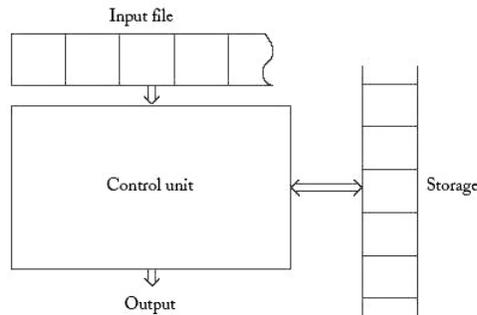
Es pertinente la distinción entre «máquina» como el objeto físico y «autómata» como el objeto teórico. Con esto, podemos tener una dupla en cuanto al tema de esta tesis: por una parte un objeto físico: la «máquina» o computadora y por otro lado un objeto teórico «autómata» o software que permite el procesamiento del lenguaje. Por extensión, esto apela a la concepción cartesiana de la relación «mente-cerebro».

Un autómata, por lo general, está constituido formalmente por secciones similares. En «*An introduction to formal languages and automata*», Peter Linz (2011, 26) los define:

Como tal, cada autómata incluye algunas características esenciales. Tiene un mecanismo para la lectura de entrada. Se supondrá que la entrada es una cadena de un alfabeto dado, escrito en un «archivo de entrada» que el autómata puede leer pero no cambiar. El archivo de entrada estará dividido en celdas, cada una de las cuales puede contener un símbolo. El mecanismo de entrada puede leer el archivo de entrada de izquierda a derecha, un símbolo a la vez. El mecanismo de entrada también puede detectar el final de la cadena de entrada (mediante la detección de una condición de fin de archivo). El autómata puede producir una salida de alguna forma. Puede tener un dispositivo de *almacenamiento* temporal, que consiste en un número ilimitado de celdas, cada una capaz de contener un único símbolo de un alfabeto (no necesariamente el mismo que el del alfabeto de entrada). El autómata puede leer y cambiar el contenido de las celdas de almacenamiento. Por último, el autómata tiene una unidad de control, que puede estar en uno cualquiera de un número finito de estados internos, y que puede cambiar de estado de alguna manera definida. La figura [...] muestra una representación esquemática de un autómata general.²⁴

²⁴«An automaton is an abstract model of a digital computer. As such, every automaton includes some essential features. It has a mechanism for reading input. It will be assumed that the input is a

[...]



Es importante entender que lo que nos ofrece la descripción de un autómata es mas la noción de su funcionamiento. *Un autómata es «función» más que la suma de sus partes.*

Hopcroft y cols. (2002, p. 2-3) nos explican un autómata altamente simple para entender cómo es que está en términos de su funcionamiento y no de su forma.

Quizá el autómata finto no trivial más simple sea un interruptor de apagado/ encendido (posiciones *on/off*). El dispositivo recuerda si está en estado encendido («*on*») o en el estado apagado («*off*»), y permite al usuario pulsar un botón cuyo efecto es diferente dependiendo del estado del interruptor. Es decir, si el interruptor está en el estado *off*, entonces al pulsar el botón cambia al estado *on*, y si el interruptor está en el estado *on*, al pulsar el mismo botón pasa al estado *off*.

En un autómata, entonces, opera en un marco temporal discreto en el que, en determinado tiempo, la unidad de control se encuentra en determinado estado interno –conocido como «configuración»– (Linz, 2011, p. 27). En el ejemplo anterior, el autómata «interruptor de luz» sólo se puede encontrar en un estado determinado: *on* (encendido) / *off* (apagado). Esa «configuración» se mantiene hasta que existe un *input*: nuestro dedo que cambia el estado.

string over a given alphabet, written on an input file, which the automaton can read but not change. The input file is divided into cells, each of which can hold one symbol. The input mechanism can read the input file from left to right, one symbol at a time. The input mechanism can also detect the end of the input string (by sensing an end-of-file condition). The automaton can produce output of some form. It may have a temporary storage device, consisting of an unlimited number of cells, each capable of holding a single symbol from an alphabet (not necessarily the same one as the input alphabet). The automaton can read and change the contents of the storage cells. Finally, the automaton has a control unit, which can be in any one of a finite number of internal states, and which can change state in some defined manner. Figure 1.4 shows a schematic representation of a general automaton.» *La traducción es mía*

Cuando nos referimos a un autómata «finito», se refiere a que tiene un número finito de estados en los cuales se puede configurar. El autómata «interruptor» no puede estar en un estado intermedio ni en un tercer estado.

Entre los autómatas finitos, podemos distinguir dos: deterministas y no deterministas. Veamos lo que nos dicen Hopcroft y cols. (2002, p. 41):

Como hemos mencionado anteriormente, un autómata finito tiene un conjunto de estados y su «control» pasa de un estado a otro en respuesta a las «entradas» externas. Una de las diferencias fundamentales entre las clases de autómatas finitos es si dicho control es «determinista», lo que quiere decir que el autómata no puede encontrarse en más de un estado a un mismo tiempo, o «no determinista», lo que significa que sí puede estar en varios estados a la vez.

Es importante saber que, para fines de esta explicación, utilizaré autómatas determinísticos y no probabilísticos. Es decir, las llamadas «cadenas de Markov» no entrarán en mi explicación ya que mi modelo no está elaborado por medio de procesos estocásticos. Es más, parte de esta tesis es demostrar que la sintaxis humana depende poco de la probabilidad de sus uniones sintagmáticas y, que en todo caso, son determinadas –ya que cada pieza léxica «proyecta» sus relaciones sintácticas–.

Sin embargo, eso no elimina la posibilidad de una sintaxis basada en modelos de Markov. Sin embargo, el modelo generativista rehúsa la idea de que así funcione efectivamente la sintaxis humana –aunque sea uno de los mejores métodos de análisis del lenguaje natural por computadora–. Para más sobre esta discusión, sugiero revisar las ideas de Andréi Markov y el capítulo primero de «Estructuras sintácticas» de Noam Chomsky.

2.5.2. Definición formal y grafo

Al igual que los lenguajes y las gramáticas, es posible definir un autómata en términos formales:

Un autómata finito determinista (abreviadamente un DFA, del inglés *deterministic finite automaton*) es una estructura de la forma

$$M = \langle Q, \Sigma, \delta, q_0, F \rangle$$

cuyos componentes se definen a continuación:

- Q es un conjunto finito no vacío, cuyos elementos se denominan estados.
- Σ es un alfabeto (denominado «de entrada»).

- δ es la función de transición.
- $q_0 \in Q$ se denomina estado inicial.
- $F \subseteq Q$ se denomina conjunto de estados aceptadores.

En cuanto a la función de transición, es una aplicación de la forma
 $\delta : Q \times \Sigma^* \rightarrow Q$.
 (Muñoz y Villodre, 2001, p. 74-75)

Es decir, un autómata está definido tanto por su *input* y su *output* como por su configuración y las reglas que cambian esa configuración. Malpica Velasco (1998, 70-71) explica que:

[Un autómata] viene determinado por cinco elementos de información:

- 1) Los estados, estados de ánimo o configuración interna.
- 2) Las entradas o estímulos.
- 3) Las salidas o respuestas.
- 4) Una función o regla describiendo cómo las entradas producen cambios de estados en el autómata.
- 5) Una función o regla indicando que salida o respuesta se espera ante cada una de las entradas para cada uno de los estados del autómata.

Puesto que el número de estados, entradas y salidas es finito, las funciones se pueden representar por medio de tablas o grafos[...]. Un autómata se va a definir por la quintupla del tipo (Q, Σ, S, f, g) , donde Q es el conjunto de estados, Σ es el conjunto de símbolos de entrada (estímulos), S el conjunto de los elementos de salida (respuestas), f la función que define los cambios de estados según las entradas y g la función que da las salidas en función de los estados de ánimo y las entradas.

Ejemplificaré esto. Pensemos en un autómata que acepte cadenas del tipo 01, 101, 11001, ... En ese caso, el autómata podría representarse así (Linz, 2011, p. 39):

$$M = (\{q_0, q_1q_2\}, \{0, 1\}, \delta, q_0, \{q_1\})$$

En donde tenemos tres estados para el autómata: q_0, q_1q_2 ; también un alfabeto de entrada: 0, 1. Un estado inicial: q_0 ; y un estado final: q_1 . Además, tenemos las reglas de transición δ las cuales son (Linz, 2011, p. 39):

$$\begin{array}{ll} \delta(q_0, 0) = q_0, & \delta(q_0, 1) = q_1, \\ \delta(q_1, 0) = q_0, & \delta(q_1, 1) = q_2, \\ \delta(q_2, 0) = q_2, & \delta(q_2, 1) = q_1, \end{array}$$

Es decir, el autómata acepta la cadena 01 de la siguiente manera: inicia en el estado q_0 ; en ese estado, puede leer el símbolo 0, pero no cambia su estado. En seguida, lee el símbolo 1 con lo cual su estado cambia a q_1 . Como q_1 es el estado final, allí puede terminar.

Este autómata es del tipo llamado «aceptador» cuyo *output* es «sí» o «no» cuando se le presenta una cadena y el autómata la rechaza o la acepta. Existen autómatas más generales que pueden generar cadenas, los cuales se llaman «transductores» (Linz, 2011, p. 27). Este autómata acepta una cadena como 01, pero no acepta una cadena como 00. De la misma manera este autómata acepta una cadena como 0111 pero no una del tipo 1100.

El aceptador, en este tenor, lo que nos permitirá será una idea formal de la *gramaticalidad* o la *agramaticalidad* en una oración en lingüística.

Observar un autómata de esta manera puede ser confuso. Es mejor intentar hacerlo en forma gráfica. Para ello existe el *diagrama de transiciones*:

Otra manera de describir a un autómata finito, que facilita mucho la comprensión en el caso de tratar con autómatas pequeños, es mediante de lo que se denomina «diagrama de transiciones del autómata». Se trata de un pequeño grafo dirigido que tiene por vértices los estados del autómata. Para cada transición de la forma $q_i \cdot a = q_j$ hay un arco que va de q_i a q_j y está etiquetado con el símbolo a . Si hay más de una transición entre dos estados q_i y q_j , por ejemplo $q_i \cdot a = q_j$ y $q_i \cdot b = q_j$, se dibuja un único arco entre estos dos estados, cuya etiqueta incluye los símbolos separados por comas (a, b en este ejemplo). El estado inicial se suele identificar con una pequeña flecha incidente. Los estados aceptadores se suelen identificar con una cruz (o con un doble círculo en algunos textos. (Muñoz y Villodre, 2001, p. 75-76)

Entonces, al graficar con un *diagrama de transiciones* el autómata anteriormente planteado como $M = (\{q_0, q_1, q_2\}, \{0, 1\}, \delta, q_0, \{q_1\})$, resultaría en algo como:

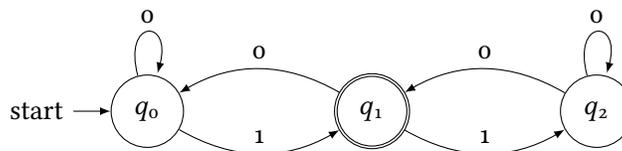


Figura 2.3: Diagrama de transiciones del autómata $M = (\{q_0, q_1, q_2\}, \{0, 1\}, \delta, q_0, \{q_1\})$. Basado en el grafo de Linz (2011, p. 39).

Como podemos observar, el autómata inicia en el estado q_0 . A partir de allí, podemos cambiar de estado por cualquiera de las transiciones –las flechas–. Cada que cruzamos por una flecha, tenemos que ir «anotando» el número que indica cada flecha. Por ejemplo, del estado q_0 al estado q_1 tendríamos que «anotar» un número 1. Ya que estamos en el estado q_1 , sólo tenemos dos opciones –ya que sólo podemos «avanzar» en el sentido de las flechas: ir al estado q_2 , lo cual generaría una cadena «11» –ya que incluimos el «1» que ya habíamos «anotado»– o de regreso al estado q_0 lo cual daría una cadena «10».

También es posible regresar al mismo estado si hay una transición que nos lo permite. Esto es lo que sucede con q_0 y q_2 que tienen sobre de ellos una transición con un valor que debemos «anotar».

El estado q_1 está marcado con un doble círculo, lo cual indica que es allí donde debemos terminar las cadenas y no en otro estado.

Con este grafo es más claro por que el AFD $M = (\{q_0, q_1, q_2\}, \{0, 1\}, \delta, q_0, \{q_1\})$ acepta una cadenas como 01 y 0111 pero no acepta una cadenas como 00 o 1100; sólo hay que seguir las transiciones desde el estado inicial al estado final y comprobarlo por uno mismo.

Para estimular la imaginación, hay que tener en cuenta que aunque en nuestro autómata puede tener 0 y 1 así como cualquier símbolo que le agreguemos. ¿Qué sucedería si en lugar de unos y ceros tuviéramos *categorías gramaticales* o *ítems léxicos*, tal cual?

Es decir, un autómata que acepte oraciones transitivas podría sería algo como:

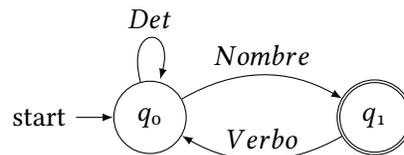


Figura 2.4: Un breve ejemplo de autómata sintáctico hipotético.

Esa es la discusión con la que inicia «Estructuras sintácticas» (Chomsky, 1957;2004). Hablaré de ello más adelante.

2.5.3. Transformación de gramáticas a autómatas

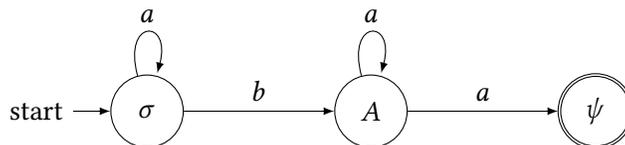
Toda gramática que procede de un lenguaje regular tiene su equivalente en un autómata y en una expresión regular –lo cual se conoce como el *Teorema de Kleene* (Malpica Velasco, 1998, p. 39)–. Es decir, el mecanismo que tenemos para la producción de cadenas es el mismo mecanismo que puede determinar si esa cadena pertenece a un lenguaje.

Para este punto, podemos comenzar a considerar que la pertinencia de la teoría de autómatas en nivel de análisis lingüístico de la sintaxis es debido a que son sistemas formales que nos permiten describir cómo es que, posiblemente, la mente humana genera o admite oraciones y otras las deshecha.

Para ejemplificar cómo es que podemos convertir una gramática en un autómata, supongamos que tenemos una gramática del tipo $\sigma \rightarrow a\sigma|bA; A \rightarrow aA|a$ que corresponde a la expresión regular²⁵ tal como a^*ba^+ , es decir $L(G) = \{w|w = a^*ba^+\}$:

Se crea un nodo por cada variable existente en la gramática, y además se pone una nueva llamada ψ . Ya que en nuestra gramática G sólo tenemos dos variables σ y A consideramos los tres estados siguientes σ , A y ψ de manera que σ es el estado inicial y ψ el estado final.

Por cada producción de la forma $A \rightarrow aA$ se crea un bucle alrededor del estado A , con etiqueta a , y cada producción del tipo $A \rightarrow aB$ va a indicar una transición del estado A al estado B con etiqueta « a ». Con estas consideraciones, el grafo del autómata buscado quedaría como:



Lo ejemplificado se puede generalizar de manera inmediata. En general se puede decir que la producción $A \rightarrow aA$ corresponde a la transición ; y la producción del tipo $A \rightarrow bA$ a $f(A, a) = B$. La variable de la izquierda de una producción representa un estado del autómata, el terminal de la parte izquierda la entrada que lleva al estado representado por la variable en la parte derecha de la producción. Si toda terminación en las derivaciones se realiza con λ el estado de aceptación del tipo ψ no será necesario. (Malpica Velasco, 1998, 28-29)

Considerando esto, podemos tomar que si todas las transiciones del tipo $f(A, a) = B$ en un autómata corresponden a reglas de producción del tipo $A \rightarrow bA$ es fácil

²⁵Las «expresiones regulares» son un tema amplio el cual está intrínsecamente relacionado con la teoría de autómatas y son importantes en lingüística ya que permiten búsquedas en corpus a una velocidad fenomenal, lo cual nos hace suponer que están íntimamente relacionadas con la forma en la que el léxico y la gramática se interrelacionan. No tocaré el tema debido a su extensión pero recomiendo el libro «Mastering regular expressions» (Friedl, 2002). También recomiendo aprender un poco de Perl para lingüística de corpus.

convertir una gramática a un autómata, pensando que todo estado final corresponde a λ –Malpica Velasco (1998, 29) y otros llaman a los estados finales «de aceptación»–.

Dicho esto, supongamos que tenemos un autómata:

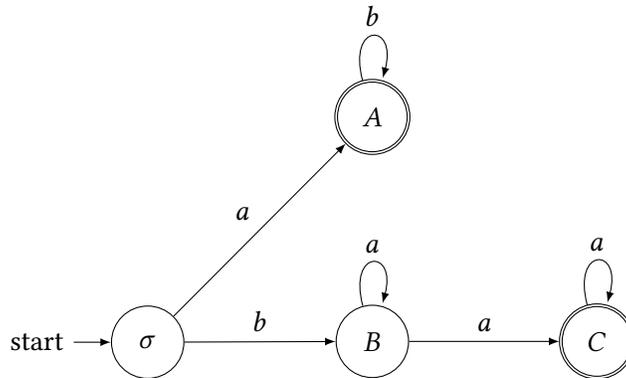


Figura 2.5: Autómata de la gramática $L(G) = \{w|w = a * ba+\}$. Basado libremente en un grafo de Malpica Velasco (1998, 30).

El cual puede transformarse en una gramática comenzando por el estado inicial y «anotándolo», después de la flecha de reescritura, se escribe tanto la transición como el estado. Hay que recordar que los estados finales les corresponde el conjunto vacío λ . De esta manera, la gramática de este autómata quedaría como:

$$\begin{aligned}
 \sigma &\rightarrow aA|bB \\
 A &\rightarrow bA|\lambda \\
 B &\rightarrow bB|aC \\
 C &\rightarrow aC|\lambda
 \end{aligned}$$

2.6. Máquinas de Turing

Dentro de los autómatas finitos se encuentra otra clasificación llamada «autómatas de pila» –también llamados PDA o «*push-down automaton*»–. Como vimos, el autómata puede aceptar ciertas cadenas por medio de transiciones pero está restringido a las mismas.

¿Qué sucedería si pudiéramos disponer de cierta memoria para que almacene los símbolos de trabajo y, con lo cual, tenga la capacidad de aceptar más de una cadena?

Los autómatas de pila, por lo tanto, son autómatas con cierta memoria donde van apilando –de allí su nombre– los símbolos a revisar y con ello permite mayor flexibilidad en el cálculo de aceptación.

Informalmente, un PDA es un autómata finito que dispone de una memoria con estructura de pila donde almacena los símbolos de trabajo. La utilización de esta pila permite a los PDAs hacer determinados recuentos y comparaciones sobre las palabras de entrada y, en general, posibilita guardar más información que la que estrictamente se puede codificar en los estados de un autómata finito. (Muñoz y Villodre, 2001, p. 167)

Un autómata finito no tiene la capacidad, el mecanismo interior para recordar cuántos y cuales símbolos ya ha examinado; es decir, no sabe contar (Malpica Velasco, 1998, p. 135). Un «autómata de pila» es un autómata entonces que puede ir acumulando datos en la memoria para saber su aceptabilidad. Esta memoria es teórica y, por lo tanto, infinita. Sin embargo, en sistemas reales la memoria llega a un punto de «saturación».

En cuanto al lenguaje, esto puede tener una dimensión en cuanto a la «recursividad» de las lenguas naturales. Si pensamos en una oración que, recursivamente, agregue subordinadas adjetivales a cada sintagma nominal del tipo:

(2.1) El niño que vio al gato que perseguía al ratón que comió el queso que guardaba la anciana que cuidaba la vaca que comía el pasto que crecía en la colina que servía de cementerio que tenía una estatua que miraba hacia el pueblo que tenía una avenida que iba hacia el ayuntamiento que...

Lo único que limita la sintaxis de dicha oración es la memoria y no la «aceptabilidad» –o «gramaticalidad» de la misma.

Formalmente, un autómata de pila se puede definir como:

Un autómata de pila es una séxtupla $\mathfrak{A} = (Q, \Sigma, \Gamma, F, q_0, f)$, donde todo es igual que en los autómatas finitos excepto por Γ que es un conjunto llamado «alfabeto de la pila» y por los conjuntos sobre los que está definida f , ahora se considera que f va de $Q \times (\Sigma \cup \{\lambda\}) \times (\Gamma \cup \{\lambda\})$ en $Q \times (\Gamma \cup \{\lambda\})$.

Ahora dispone de dos alfabetos, Σ y Γ . El primero es el alfabeto de entrada, el de terminales del lenguaje que se pretende reconocer, es decir, el de siempre; mientras que el segundo, Γ , va a representar los elementos que se meten en la pila y se notarán con letras mayúsculas, en realidad van a hacer las veces de variables, o no-terminales. La pila vacía se representa λ , igual que la cadena vacía. (Malpica Velasco, 1998, p. 135)

Como se puede ver, la memoria juega un papel crucial en cuando el poder de «aceptabilidad» de un autómata. Esta idea nos lleva al modelo de «la máquina de Turing».

La palabra «máquina» plantea el mismo problema que «autómata»: no se está hablando de un objeto del mundo real, sino de una potencialidad teórica. Es decir, cuando pensamos en «máquina», generalmente la asociamos con cables, engranajes una carcasa, palancas y botones.

Lo que planteaba Alan Turing no era un objeto, es decir, no planteaba una maquinaria sino su mecanismo. Malpica Velasco (1998, p. 131) explica que:

La máquina de Turing es un modelo abstracto, teórico, para estudiar la potencia de cálculo de un ordenador de propósito general, o de manera más general, para el estudio de la computación y de los algoritmos. No se trata, por tanto, de un dispositivo con brazos mecánicos o circuitos eléctricos, el nombre «máquina» le viene de la finalidad para la que fue construida, a saber, el estudio de los procesos mecánicos o algorítmicos.

En la mayor parte de las exposiciones de gramática generativa nos encontramos con los términos «dispositivo» –*device*– u «órgano». Este ha sido uno de los principales objetos de ataque por medio de las críticas ya que no hay forma de demostrar, empíricamente, su existencia en el plano físico. Chomsky, cuando se refiere a estos términos, está utilizando la misma idea de Turing para hablar de conceptos «dispositivo gramatical» u «órgano del lenguaje»: no está hablando de una maquinaria física, sino de un mecanismo teórico²⁶.

Regresando a la «máquina de Turing», el concepto era altamente revolucionario para su tiempo ya que planteaba dos posibilidades: crear un dispositivo teórico que lograra resolver problemas matemáticos por una serie de pasos, es decir «por algoritmos» –lo cual es el punto central de las «ciencias de la computación»–; por otro lado, este «dispositivo teórico» quería dar cuenta de ciertos procesos mentales cognitivos.

Es decir, una «máquina de Turing» también es una representación simple de mecanismos mentales que nosotros reconocemos bajo el nombre de «pensamiento» –aunque no de todos los tipos de pensamiento–. Este supuesto teórico no engloba a todos los mecanismos, sino solo aquellos que son automáticos –o «de autómatas»–. En «*Computing machinery and intelligence*» Turing (1950), plantea que:

²⁶Considero que uno de los problemas al interior del generativismo es la desafortunada elección de términos que Chomsky utilizó para definir sus conceptos. Muchos de ellos son calcos de la teoría de autómatas que, cuando son trasladados a la lingüística, se vuelven ambiguos, oscuros o propensos a ser malinterpretados.

La idea detrás de computadoras digitales puede explicarse diciendo que se trata de máquinas cuyo objetivo es ejecutar cualquier operación que pueda realizar una computadora humana. Esta computadora humana supuestamente sigue reglas fijas y carece de la autoridad para desviarse de ellas en el más mínimo detalle. Podríamos aventurar que las reglas aparecen en un libro que se modifica cada vez que la computadora humana debe efectuar una tarea nueva y también que esta última cuenta con una reserva ilimitada de papel en la que realiza sus cálculos. También puede efectuar multiplicaciones y sumas en una «calculadora de escritorio», pero esto no es importante.

Como podemos notar, Alan Turing ya tenía cierto modelo de una máquina de «computadora digital» «de escritorio». ¿Cuál es la diferencia entre la computadora actual y la máquina de Turing? La gran diferencia es que la máquina de Turing solo es la «potencialidad» de una computadora: su diseño más abstracto.

Aun así, Turing (1950) continúa:

Suele considerarse que una computadora digital consta de tres partes:

- Almacenamiento
- Unidad procesadora
- Control

El almacenamiento es el acopio de información y corresponde al papel sobre el que se efectúa la computación humana, ya sea el papel en que la persona realiza los cálculos o aquél en el cual está impreso el libro de reglas. Del mismo modo que el computador humano efectúa sus cálculos con su cabeza, parte del almacenamiento corresponde a la memoria de la máquina.

La unidad procesadora es el sector que realiza las distintas operaciones de cálculo. La naturaleza de estas operaciones varía de una máquina a otra. [...]

Hemos mencionado que el «libro de reglas», de que se vale el computador, se sustituye en la máquina por una parte del almacenamiento. Esta se denomina «tabla de instrucciones». Corresponde al control comprobar que las instrucciones se sigan correctamente y en su debido orden. El control está construido de tal manera que es infalible.

La información almacenada suele estar dividida en paquetes de tamaño relativamente modesto. En una máquina concreta, por ejemplo, el paquete puede constar de diez dígitos decimales. Se asignan

números a las partes del almacenamiento en que se guardan los diversos paquetes de información, con arreglo a una modalidad sistemática. [...]

Las instrucciones de este tipo son muy importantes porque permiten la repetición de una secuencia de operaciones una y otra vez hasta que se cumple un determinado requisito, pero, al hacerlo, la máquina sigue en cada repetición, no nuevas instrucciones, sino las mismas indefinidamente. Recurramos a una analogía casera: supongamos que mamá desea que Tommy pase por el zapatero cada mañana camino del colegio para ver si han arreglado sus zapatos; puede decírselo cada mañana, o puede dejar una nota permanente en el vestíbulo para que el niño la vea al salir y recuerde que tiene que pasar por el zapatero, y luego, al volver, si trae los zapatos, rompa la nota. El lector debe aceptar como un hecho la construcción de computadoras digitales que, efectivamente, se han construido con arreglo a los principios expuestos y que realmente mimetizan con gran fidelidad los actos de un computador humano.

El libro de reglas que, según hemos señalado, utiliza el computador humano es, naturalmente, una ficción convencional. Los computadores humanos recuerdan en realidad lo que tienen que hacer. Si queremos hacer una máquina que mimetice el comportamiento de un computador humano en operaciones complicadas, hay que preguntarle a éste cómo lo hace y luego transferir la respuesta en forma de tabla de instrucciones. La elaboración de tablas de instrucciones suele denominarse «programación». La «programación de una máquina para que efectúe la operación A» significa insertar en la máquina la tabla de instrucción adecuada para que lleve a cabo A.

Es evidente que lo que estamos viendo en la propuesta de Turing es el modelo de computadora actual. Una unidad de procesamiento, memoria, *input*, *output* e instrucciones en código para programación.

Sin embargo, cabe resaltar que Turing se refiere al «computador humano». Esta idea mecanicista que subyace desde el renacimiento de «la mente como máquina» es la que se retomó en el generativismo para intentar explicar, de manera formal, cual es el «computo sintáctico». Es decir, debe haber en la mente una unidad de procesamiento central (CPU) ya que existe una memoria, un *input* y un *output*.

Si hay un *lenguaje de programación* o un *sistema operativo* o sólo un *programa codificado* que regula la sintaxis, es en realidad, uno de los muchos elementos que dividen a la «teoría estándar» de «principios y parámetros» de «el programa minimalista».

Veamos entonces qué es una máquina de Turing en términos formales según lo que explica Malpica Velasco (1998, p. 174-175)

Alan Turing en un artículo titulado «*On Computable Numbers, with an Application to Entscheidungsproblem*» (1937) prueba que hay algunos problemas de tipo matemático que se pueden resolver siguiendo un número finito de pasos, utilizando un conjunto finito de reglas que él define como un proceso que se puede hacer por una máquina de manera automática. Propone un tipo de máquina teórica que se utiliza ampliamente en teoría de autómatas y es la base para el estudio teórico en Ciencias de la Computación.

Una máquina de Turing es un automata finito al que se le permite manipular la cadena de entrada. Consideremos una cinta que se extiende hasta el infinito, no hay inconveniente en eso ya que estamos utilizando un modelo teórico. Dicha cinta la consideramos dividida en casillas, numeradas de izquierda a derecha. Cada casilla contiene un símbolo del alfabeto de entrada. Se dispone de una cabeza lectora de cinta que contiene el estado de la máquina en un momento dado. Dicha cabeza se mueve de casilla en casilla leyendo el símbolo que hay dentro de la casilla. Aunque la cinta es infinita, el número de casillas con símbolos de entrada se considera finito. Dicha entrada se dispone de izquierda a derecha comenzando por la primera casilla de la izquierda. El resto de las casillas, hasta el infinito, se consideran en blanco[...].

La cabeza lectora en realidad es también escritora. En una máquina de Turing se va a permitir reemplazar el símbolo de entrada de una casilla por otro símbolo de un alfabeto especial que vamos a llamar «alfabeto de la cinta».

Dicho esto, la definición de una máquina de Turing es:

Una máquina de Turing M está definida por:

$$M = (Q, \Sigma, \Gamma, \delta, q_0, \square, F)$$

donde

Q es el conjunto de estados internos.

Σ es el alfabeto de entrada.

Γ es el conjunto finito de símbolos llamado «el alfabeto de la cinta».

δ es la función de transición.

$\square \in \Gamma$ es un símbolo especial llamado «blanco».

$q_0 \in Q$ es el estado inicial.
 $F \subseteq Q$ es el conjunto de estados finales.
 [...]

La función de transición δ está definida como:

$$\delta : Q \times \Gamma \rightarrow Q \times \Gamma \times \{L, R\}$$

(Linz, 2011, p. 223)²⁷

Entonces, la máquina teórica de Turing se vería de la siguiente manera:

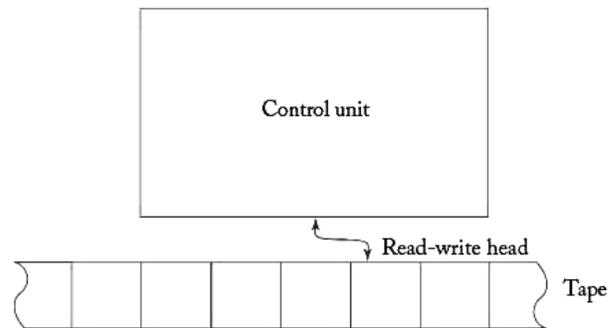


Figura 2.6: Esquema de «máquina de Turing». Tomado de Linz (2011, p. 223)

Así, en un modelo plano, no podemos apreciar realmente la «abstracticidad» de la máquina teórica. En la novela de divulgación de la ciencia «El quinteto de Cambridge» de John Casti (1998) –la cual toca temas que están profundamente relacionados con esta tesis–, la máquina de Turing se representa de la siguiente manera la cual, me parece, retrata mejor su esencia:

²⁷«A Turing machine M is defined by $M = (Q, \Sigma, \Gamma, \delta, q_0, \square, F)$ where Q is the set of internal states, Σ is the input alphabet. Γ is the finite set of symbols called the tape alphabet, δ is the transition function, $\square \in \Gamma$ is a special symbol called the blank, $q_0 \in Q$ is the initial state, $F \subseteq Q$ is the set of final states.» *La traducción es mía.*

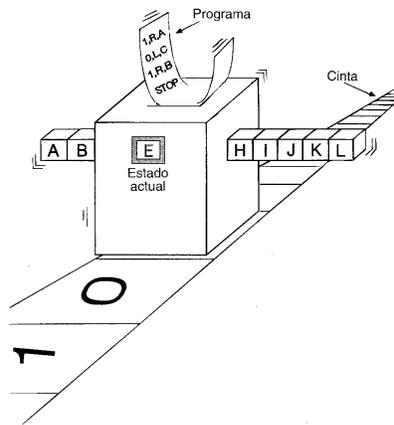


Figura 2.7: Máquina de Turing en la novela «El quinteto de Cambridge» de John Casti (1998)

Una máquina de Turing sólo puede realizar tres funciones básicas: «reescribir el símbolo en la cinta, cambiar el estado de la unidad de control o mover la cabeza de lectura-escritura» (Linz, 2011, p. 223). Con sólo esas tres acciones básicas, la máquina de Turing es capaz de hacer cosas realmente complejas. En la función de transición δ se contienen las instrucciones para la máquina, lo cual podemos pensar en él como el «programa».

Veamos un ejemplo para entender el mecanismo de la máquina de Turing. Linz (2011, p. 224) nos propone una maquina de Turing definida por

$$\begin{aligned} Q &= \{q_0, q_1\}, \\ \Sigma &= \{a, b\}, \\ \Gamma &= \{a, b, \square\}, \\ F &= \{q_1\}, \end{aligned}$$

y por la función de transición δ que estará definida como:

$$\begin{aligned} \delta(q_0, a) &= (q_0, b, R), \\ \delta(q_0, b) &= (q_0, b, R), \\ \delta(q_0, \square) &= (q_0, \square, R). \end{aligned}$$

Entonces, la máquina inicia en el estado q_0 con el símbolo a en la cinta. Ya que la función de transición indica que $\delta(q_0, a) = (q_0, b, R)$ entonces la máquina reescribirá la a por una b , y se moverá a la derecha (R). La cabeza permanecerá en el estado q_0 .

Si llega a encontrar otra a , repetirá el proceso. Si encuentra una b , no escribirá nada, se moverá a la derecha y permanecerá en el mismo estado. El «programa» –o seudo-código– terminará con la ultima configuración de δ : al encontrar un espacio en blanco (\square) se moverá a la izquierda (L) y cambiará su estado a q_1 que es el estado final o de «aceptación».

En forma visual tendríamos este proceso de la siguiente manera:

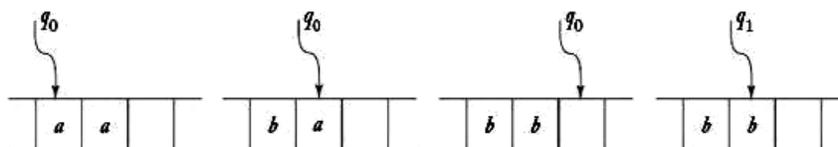


Figura 2.8: Proceso del programa de una máquina de Turing. Tomado de Linz (2011, p. 225)

Esta máquina puede, como cualquier autómat, representarse en forma de un grafo. La representación de la máquina de Turing del ejemplo anterior se vería como:

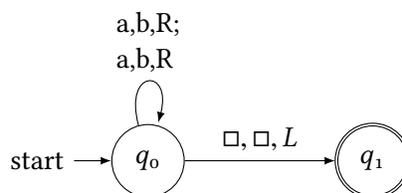


Figura 2.9: Grafo de la máquina de Turing del ejemplo anterior. Tomado de Linz (2011, p. 225)

Con el desarrollo de la máquina de Turing, se pudo concretar uno de los conceptos centrales de la teoría de la computación: el *algoritmo*. Antes de la Segunda Guerra Mundial ya se tenía una noción de algoritmo pero no estaba formalizada. Como dice Malpica Velasco (1998, p. 181):

Un algoritmo es todo proceso que puede realizar una máquina de Turing.

Dicho esto, Turing –basándose en Hilbert– se apoya en la idea de que un algoritmo es la manipulación de símbolos sin que se tenga en cuenta cual es la representación o «significado» de dichos símbolos.

Turing y Church afirmaron que un procedimiento se dice «computable» o algorítmico si se puede construir una máquina que realice dicho procedimiento. Esto es conocido como la tesis Church-Turing y es universalmente aceptada. En todos los años que han pasado desde que se propuso la tesis todavía no se ha encontrado un procedimiento que, siendo mecánico, algorítmico, no se pueda representar con una máquina de Turing (Malpica Velasco, 1998, p. 181).

¿La sintaxis en la mente ES un algoritmo? Incluso, la pregunta amplia sería: *¿la mente humana funciona como una colección de algoritmos?*

Esto nos plantea un problema en lingüística: la aceptación sintáctica de cadenas o secuencias de constituyentes, ¿es posible determinarlas por medio de un algoritmo? Si es así, ¿cuál es?

Y, de forma más trascendente, se puede plantear la pregunta: *¿la sintaxis, dentro de la mente, es una máquina de Turing?*

2.6.1. El cálculo lambda

Como veremos en el último capítulo, el que está destinado a mostrar el modelo de Merge que propongo, será necesario explicar un poco acerca de qué es un *cálculo lambda*.

El cálculo lambda fue una propuesta secundaria sobre el *Entscheidungsproblem* el cual retrata, también, el concepto de algoritmo. Fue elaborado por Alonzo Church en la década de los treinta en una serie de artículos que inician con «*A set of postulates for the foundation of logic*» (Church, 1932). Es menos popular que las máquinas de Turing debido a que es más abstracto ya que es una propuesta de «metaprocésamiento» –por darle algún nombre–.

Intentaré explicarlo de forma simple. Cualquier persona que haya pasado por la educación media, se habrá enfrentado a problemas de álgebra básicos como

$$x + 2 = 5$$

Cualquier persona que conozca este tipo de formulación puede dar una respuesta rápida: «X es igual a 3». Con este razonamiento, la persona que puede resolver esto puede resolver cualquier formulación del tipo $x + y = z$ donde x es una incógnita.

La cuestión que busca el cálculo lambda que interesa para esta tesis es «¿cómo sabemos como resolverlo?». Podríamos llevarlo a un plano cognitivo y preguntar «¿cuál es el proceso que usa nuestra mente para resolver esto?». La expresión $x + 2 = 5$ no está exigiendo, de ninguna manera, una respuesta hacia la búsqueda del «valor» de x . Sin embargo, parece haber un «mecanismo» que resuelve dicha expresión.

En el blog *Palmstörn*, en la entrada «*The Lambda Calculus for Absolute Dummies (like myself)*» Joscha Bach (2012) explica lo siguiente acerca del cálculo lambda:

Si hay un concepto altamente subestimado en la filosofía hoy, es el de «computación». ¿Por qué es tan importante? Porque el *computacionalismo* es el nuevo *mecanicismo*. Durante milenios, los filósofos han tenido dificultades cuando han querido expresar, o dudar, si el universo se puede explicar de una manera mecánica ya que es difícil determinar qué es una máquina y qué no lo es. El término *computación* hace exactamente esto: define exactamente lo que las máquinas pueden hacer y qué no pueden. Si el universo; la mente; el cerebro; los conejos; Dios, son explicables de una manera mecánica, entonces son una computadora y viceversa.

Desafortunadamente, la mayoría de la gente fuera de la programación y la informática no saben exactamente lo que significa computación. Muchos pueden haber oído hablar de las máquinas de Turing; sin embargo, estas máquinas tienden a hacer más daño que bien porque dejan una fuerte intuición de que es cuestión de mover ruedas y cintas en lugar de lo que realmente hace: encarnar la naturaleza de la computación.

El Cálculo Lambda hace exactamente lo mismo pero sin ruedas para nublar su visión. Puede parecer atemorizantemente matemático desde lejos (¡usa una letra griega!) por lo que nadie fuera de la informática académica tiende a revisarlo, pero es increíblemente fácil de entender. Y quien lo entiende, puede terminar con una intuición mucho mejor de lo que es la computación.

El Cálculo Lambda fue inventado aproximadamente en el mismo momento que la Máquina de Turing (mediados de 1930), por Alonzo Church. ¡No se deje intimidar por la palabra «cálculo»!: no tiene fórmulas ni operaciones complicadas. Todo lo que hace es tomar una línea de letras (o símbolos) y realiza una pequeña operación de cortar y pegar en ella. Como se verá, el Cálculo Lambda puede calcular todo lo que se puede calcular, con un simple «corte y pega».²⁸

²⁸«If there is one highly underrated concept in philosophy today, it is computation. Why is it so important? Because computationalism is the new mechanism. For millennia, philosophers have struggled when they wanted to express or doubt that the universe can be explained in a mechanical way, because it is so difficult to explain what a machine is, and what it is not. The term computation does just this: it defines exactly what machines can do, and what not. If the universe/the mind/the brain/bunnies/God is explicable in a mechanical way, then it is a computer, and vice versa.

Explicar el cálculo lambda es, en realidad, muy sencillo. La expresión típica lambda es del tipo

$$\lambda b.abc.x$$

la cual podemos interpretar así: «cada una de las variables que están junto a la letra lambda, sustitúyelas en orden, por las que estén junto a la expresión, hacia el 'cuerpo de la expresión'».

Es decir, lo que se hace es identificar que lo que cambiaremos es el «cuerpo» abc . Pero no cambiaremos todo, solo la variable b . Esta variable la cambiaremos por el resto de la expresión, es decir por x . Hecho esto, eliminamos la «cabeza» de la expresión y la otra expresión. Con lo cual, tenemos que el calculo lambda se «transforma»:

$$\lambda b.abc.x \longrightarrow \lambda b.axc \longrightarrow axc:$$

El cuerpo de la expresión puede contener, potencialmente, cualquier expresión. Se puede incluir cualquier variable, de las cuales se pueden sustituir por grupos de variables, encerrados entre paréntesis.

Por ejemplo, la expresión:

$$\lambda x.yx(abc)$$

da como resultado

$$y(abc)$$

El cálculo lambda soporta tantas variables como queramos introducir:

$$\lambda xy.yxz(ab)(w) \longrightarrow \lambda y.yabz(w) \longrightarrow wabz$$

Unfortunately, most people outside of programming and computer science don't know exactly what computation means. Many may have heard of Turing Machines, but these things tend to do more harm than good, because they leave strong intuitions of moving wheels and tapes, instead of what it really does: embodying the nature of computation.

The Lambda Calculus does exactly the same thing, but without wheels to cloud your vision. It might look frighteningly mathematical from a distance (it has a greek letter in it, after all!), so nobody outside of academic computer science tends to look at it, but it is unbelievably easy to understand. And if you understood it, you might end up with a much better intuition of computation. The Lambda Calculus has been invented at roughly the same time as the Turing Machine (mid-1930ies), by Alonzo Church. Don't be intimidated by the word "calculus"! It does not have any complicated formulae or operations. All it ever does is taking a line of letters (or symbols), and performing a little cut and paste operation on it. As you will see, the Lambda Calculus can compute everything that can be computed, just with a very simple cut and paste.» *La traducción es mía.*

El original se puede consultar en:

<https://palmstroem.blogspot.com/2012/05/lambda-calculus-for-absolute-dummies.html>

A pesar de su nombre, el cálculo lambda no calcula nada, sino que da pie a que una expresión sea transformada en otra. Es posible que su «mecanismo» pueda equipararse a un cálculo:

$$\lambda x.(x)^2(3) \longrightarrow (3)^2 = 9$$

incluso podemos complejizarlo al agregar más variables:

$$\lambda xy.(x)^y(3)(2) \longrightarrow (3)^2 = 9$$

Retornando a nuestro primer ejemplo, la expresión $x + 2 = 5$, daría pie a un cálculo lambda del tipo

$$\lambda x.x + 2 = 5.(3)$$

lo cual daría cuenta del cómputo «mental» que hacemos al resolver dicha expresión.

El cálculo lambda es interesante en este trabajo dado que es una abstracción que no necesariamente se reduce al campo de las matemáticas. El cálculo lambda se ha utilizado en otras disciplinas y áreas del conocimiento. En la lingüística, el campo que nos compete, ha sido utilizado tanto en la semántica como en la sintaxis. Por ejemplo, para representar «Mary walk and talk» en su forma vericondicional, Barbara H. Partee (2005) los representa como

$$\lambda y[(walk(y)talk(y))](m)$$

lo cual da pie a su representación sintáctica profunda

(vi) to represent "Mary walks and talks" with constituents that correspond to surface syntax:

$$\mathcal{B}_y[(walk(y) \& talk(y))](m)$$

Syntactic Structure of the formula in (vi):

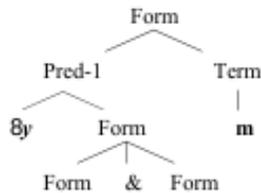


Figura 2.10: Representación de la estructura sintáctica profunda del cálculo lambda $\lambda y[(walk(y)talk(y))](m)$. Tomado de Partee (2005).

2.7. Sistemas formales, realidad e isomorfismos.

Para este punto, quien lea esta tesis debe estarse preguntando la razón de este capítulo. He intentado en cada sección vincular la teoría de autómatas o la de lenguajes formales con algún asunto concerniente al estudio del lenguaje. Sin embargo, la razón de este capítulo puede no ser clara.

Existen tres problemas que los lingüistas hemos decidido –en conjunto– «esconder debajo de la alfombra» ya que plantean una serie de callejones sin salida y paradojas que su discusión sólo interrumpe el desarrollo de nuestra disciplina. Se han discutido por más de tres mil años sin que haya, hasta el momento, una respuesta satisfactoria²⁹.

El primer problema es que el lenguaje, en sí, es inmaterial. No existe en una forma física o, en todo caso, su existencia es similar a la de la «conciencia»: no hay forma de rastrearla en el cerebro humano a pesar de que sepamos que está allí. No sólo eso, es un sistema «que cambia» –como ya lo advierte Coseriu– lo cual lo convierte en un objeto errático y polimorfo. El lenguaje es uno de los fenómenos abstractos más cotidianos.

El conflicto ocurre, además, cuando este fenómeno inmaterial tiene correlato material. Es decir, se afecta por lesiones o tumores en el cerebro; tiene patología, que, incluso, puede rastrearse a nivel genético; lo podemos medir acústicamente; hay forma de rastrear su ocurrencia por medio de electroencefalogramas; etcétera.

Sin embargo *no está allí*.

Es un absurdo pensar que, durante una autopsia, vamos a ver en el cerebro «precipitación de verbos transitivos» o «un sintagma nominal anquilosado en el córtex». Jugamos a que existen categorías gramaticales claras y específicas aún cuando no están allí de ninguna manera y, si cambiara el paradigma lingüístico, dejaríamos de creer en ellas.

Otro problema es que el objeto de estudio es el instrumento de análisis y, además, es el lenguaje en el que se entregan los resultados. Esto sería equivalente a pensar –en el campo de la física– en medir la luz con luz y, para explicar los resultados, crear un espectáculo de luces. La lingüística es, en sí, un juego de *metalenguajes* los cuales se comprenden uno dentro del otro creando un «bucle extraño» –a la manera de Hofstadter– los cuales hemos aprendido simplemente a ignorar o a intentar usar sistemas formales para evitar este «bucle».

El último problema es sobre la elección de sistemas formales para nuestras explicaciones. Hemos ido tomando muchos sistemas formales para intentar describir –más no explicar– que sucede al interior del lenguaje. Utilizamos la teoría

²⁹Una de las cosas que la lingüística y las matemáticas tienen en común es que han aprendido a avanzar «a pesar» de su objeto de estudio.

de conjuntos, la teoría de autómatas, la lógica matemática, el cognitivismo, la estadística, etcétera para intentar salvar el problema de «el objeto es la medida». En semántica esto es claro –especialmente en la composicional–. Sin embargo, la gran revolución de las matemáticas del siglo XX fue entender que hay sistemas en los cuales no se puede explicar lógicamente algunas de sus proposiciones. En lingüística nos enfrentamos a preguntas como «¿Una pregunta es falsa o verdadera?, «¿qué relación hay entre signo y referente?», «¿por qué aunque cambie el sistema, la gente aún entiende?», «¿qué es «entender»?», «¿cómo demostrar, fehacientemente, la existencia de categorías gramaticales?» o «¿dónde están las palabras?» y, muchas veces, no hemos podido dar una respuesta cien por ciento satisfactoria.

En este capítulo he mostrado los principios básicos de la «teoría de autómatas» y como puede aplicarse al estudio del lenguaje. Al inicio, alguien pudo pensar «¿qué es esto?, ¿por qué tantos símbolos?, ¡es ridículo! La sintaxis no puede funcionar así, no somos máquinas» e inmediatamente pensar en ejemplos en contra.

En este sentido, estamos de acuerdo. Yo también podría admitir que el lenguaje *no* es un autómata o una máquina de Turing. Si fuera así, el clásico ejemplo acerca de lo escrito en los envases de champú

(2.2) Lave, enjuague y repita

nos llevaría a un bucle infinito que nos dejaría con la botella vacía en la primera lavada. También sería imposible el ejemplo clásico de John Searle

(2.3) ¿Podrías pasarme la sal?

que pragmáticamente requiere de un contexto y de un *commonground* entre los hablantes.

La razón de exponer la «teoría de autómatas» fue buscar un *isomorfismo*. Este concepto consiste en buscar dos sistemas que se correspondan entre sí. Si encontramos dos sistemas que consideramos *equivalentes* podemos asumir que, si existe cierto comportamiento en uno de los sistemas, casi con seguridad podemos comprobar que el segundo sistema, de manera aproximada y analógica, tendrá el mismo comportamiento.

La palabra «isomorfismo» es utilizada cuando dos estructuras complejas pueden ser proyectadas una sobre otra, de tal modo que cada parte de una de ellas tiene su parte correspondiente en la otra: «correspondiente» significa que ambas partes cumplen papeles similares en sus respectivas estructuras. Este empleo proviene de una noción más precisa, perteneciente a la matemática.

Un matemático se regocija cuando logra descubrir un isomorfismo entre dos estructuras previamente conocidas. Se trata a menudo de una «iluminación», y se convierte en fuente de asombro. La percepción de un isomorfismo entre dos estructuras ya conocidas es un avance significativo del conocimiento, y sostengo que tales percepciones son lo que genera *significaciones* en la mente humana. Una cosa más acerca de la percepción de isomorfismos: dado que estos últimos se presentan bajo muy diversas figuras y dimensiones, por decir así, no siempre es fácil estar seguro de haber descubierto un isomorfismo. En consecuencia, «isomorfismo» es una palabra caracterizada por toda la ambigüedad habitual de las palabras, lo cual es una carencia, pero también una ventaja. (Hofstadter, 2007, p. 57)

La idea que subyace en este capítulo es buscar un isomorfismo adecuado entre la sintaxis de las lenguas naturales y un correlato formal.

Como veremos más adelante, en realidad, esto fue una revisión histórica al interior del generativismo.

El isomorfismo entre «teoría de autómatas» y sintaxis no parece empatar completamente; sin embargo, nos ayuda a salvar dos de los tres problemas que expliqué previamente: nos permite que el objeto abstracto de la sintaxis se presente ahora como un «caos ordenado»; además, podemos hacer postulaciones «mezcladas» con matemáticas para crear un metalenguaje más preciso. Lo insalvable es no caer en el tercer problema: usar sistemas formales para explicar la sintaxis nos llevará, inevitablemente a callejones sin salida.

Usar la «teoría de autómatas» como isomórfica con la sintaxis permite hacer hipótesis sobre los principios universales de la sintaxis, los cuales deben de ser elicitados para determinar si se cumplen o no en los datos. Es decir, «si así funciona una máquina de Turing, tal vez y sólo tal vez, así pueda funcionar la sintaxis... posiblemente».

Cuando uno se encuentra con un sistema formal del que no se conoce nada, con la esperanza de descubrir en él alguna significación recóndita, el problema es cómo asignar interpretaciones significativas a sus símbolos: en otros términos, cómo hacerlo de modo tal que surja una correspondencia de nivel superior entre proposiciones verdaderas y teoremas. Es posible que se lancen muchos puñetazos de ciego antes de hallar un conjunto satisfactorio de palabras que se relacionen con los símbolos. [...]

Los matemáticos (y, desde hace poco tiempo, los lingüistas, los filósofos y algunos otros especialistas) son los únicos que utilizan sistemas formales, e invariablemente se ajustan a una interpretación,

asociada a los sistemas formales que emplean y difunden. Su propósito es establecer un sistema formal cuyos teoremas reflejen, isomórficamente, algún segmento de la realidad. (Hofstadter, 2007, p. 58)

Al estudiar la historia de la lingüística nos encontramos con varias propuestas isomórficas que pretenden encajonar en el frío y cuadrado mundo de los sistemas formales algo tan vivo, múltiple e volátil como es el lenguaje humano.

La razón de que los modelos cambien para explicar la realidad es que se descubren nuevos isomorfismos –Karl Popper explica este fenómeno del cambio de «paradigma científico» de una manera más elegante que yo y sin caer en el pantano «isomórfico»–. Esa también es la razón por la que, dentro de un mismo marco teórico, los investigadores parecen contradecirse o refutarse a sí mismos a lo largo del tiempo.

La idea del isomorfismo entre sintaxis y autómatas no es mía. Inició con Noam Chomsky y continuó con una multitud de investigadores que, en los últimos sesenta años, han conformado el aparato teórico –amado y vilipendiado– conocido como «generativismo».

La crítica, en general, lo que más señala del «generativismo» es su mutabilidad casi caprichosa. Cada que surge una nueva versión, el postulado teórico de inicio es «nos equivocamos, todo lo que dijimos antes está mal». Esto, desde mi punto de vista, no debería ser observado como un defecto sino como una característica. El «generativismo» está buscando cuál modelo se ajusta más a una realidad intangible y extraña como es la mente humana.

[...] es natural preguntarse qué porción de la realidad puede ser imitada, en su comportamiento, por un conjunto de símbolos sin significación, gobernados por reglas formales. ¿Será posible transformar toda la realidad en sistema formal? Pareciera que, en un sentido muy amplio, puede responderse afirmativamente; es posible sugerir, por ejemplo, que la realidad no es, en sí misma, más que un sistema formal extremadamente complicado. Sus símbolos no se diseminan sobre un papel sino, todo lo contrario, dentro de un vacío tridimensional (espacio): son las partículas elementales que dan su composición a todas las cosas. [...]

Sin embargo, esta concepción tiene dimensiones tan colosales que su interés es únicamente especulativo; además, la mecánica cuántica (y otros sectores de la física) plantean al respecto algunas dudas, que se extienden inclusive a las presuntas potencialidades teóricas de la idea. Básicamente, nos estamos preguntando si el universo actúa en forma determinista, lo cual sigue siendo un problema abierto. (Hofstadter, 2007, p. 61-62)

Dicho esto, el problema que yo planteo es difícil ya que abre preguntas que me superan totalmente. Si suponemos que la sintaxis es isomórfica con la teoría de autómatas, eso nos podría hacernos preguntar *¿qué tanto la mente humana es o no es una máquina de Turing?* El postular que exista un algoritmo de orden mental, implica, necesariamente, que ciertas partes de la mente son similares a una máquina de Turing o a un cálculo lambda.

¿Qué tan diferente es una «mente biológica» –el cerebro– en comparación con una «mente electrónica» –una computadora–?

En todo caso, se está tomando mal la premisa. La mente no es una computadora: *la computadora es una mente*. O, por lo menos, una simulación de ella. Hablaré un poco de ello en el capítulo siguiente.

El lenguaje y la inteligencia artificial

Like the times I was worried about you, things that hurt me, things I want. And then I had this terrible thought. Are these feelings even real? Or are they just programming?

– Spike Jones. «Her» (2014)
[guión cinematográfico].

Para las personas que no tenemos relación con la *ingeniería computacional* o las *matemáticas*, el término «inteligencia artificial» nos suena a algo extraído de la ciencia ficción.

Inmediatamente nos vienen a la mente robots o androides que pueden dialogar con los humanos –desde la *teniente Kusanagi* en «Ghost in the shell» hasta *Marvin* de «La guía del autoestopista galáctico» pasando por *Robotina* de «Los supersónicos» y *Cortana* de «Halo»–; otros que, incluso, filosofan sobre su propia condición de máquina – el *teniente Data* de «Viaje a las estrellas: nueva generación», *Andrew* de «El hombre bicentenario» pasando por *Astroboy* o *Chi* de «Chobits»–; algunos que amenazan al humano o a la humanidad entera –*HAL9000* de «2001: Odisea del espacio», *Ultron* del universo Marvel o los *agentes* en «Matrix»–.

Es decir, para el grueso de la población, «inteligencia artificial» nos suena a una *máquina*, un robot, que posee pensamiento, albedrío, ética, memoria, sentimientos, imaginación, conciencia del yo, aprendizaje, actitud contemplativa, sueños, etc. Es decir, para todos nosotros, «inteligencia artificial» está realmente afuera de la frontera que delimita únicamente el concepto único de «la inteligencia» en sí.

La «inteligencia artificial» es, en realidad, un campo altamente complejo que está sujeto a reflexiones tanto técnicas como filosóficas acerca de «qué es la inteligencia» y «cómo simular la inteligencia». En la lingüística, esto se ha vuelto

realmente relevante ya que nuestra idea de la «inteligencia» está intrínsecamente unida al lenguaje.

La perspectiva usual es que «si algo tiene lenguaje, tiene que tener pensamiento; y si tiene pensamiento, debe poseer cierto grado de inteligencia». Esta visión del mundo nos ha llevado a ciertos callejones sin salida y equívocos sociales de diferente tipo.

La incompreensión de ciertas lenguas indígenas –especialmente las tonales– llevó a la discusión de si los habitantes originarios de América eran realmente humanos. Hasta hace poco, se usaba la palabra «dialecto» para referirse a las lenguas indígenas en la idea de que lo que hablan no alcanzaba el estatus de lengua, debido a supuesta falta de inteligencia de sus hablantes.

En el siglo XVII, la idea de inteligencia estaba íntimamente ligada al entendimiento y el lenguaje. Johann Gottfried von Herder había postulado en su «Ensayo sobre el origen de la lengua» que había una escala o rango que marcaba el grado de primitivismo o civilización de los pueblos, el cual estaba relacionado de forma directa en cuanto a la lengua que dicho pueblo hablaba.

La inteligencia animal también es un punto en donde no hay acuerdos. Existe la idea general de que los animales no son racionales: actúan por instinto. Cuando vemos que hay un perro al que podemos aplicar la etiqueta «inteligente» es más en el sentido de una *anormalidad curiosa* –es decir «sabe hacer un truco» o «tiene memoria»– que en el reconocimiento de su capacidad para resolver problemas.

Por otro lado, se nos ha dicho que los pulpos son muy inteligentes, posiblemente más que los simios o que los perros. Sin embargo, su inteligencia, ente las personas, queda en entredicho ya que no puede hablar. Wittgenstein, en sus «Investigaciones filosóficas», ya había planteado que:

Si un león pudiera hablar, no podríamos comprenderlo.

La cual nos lleva exactamente a la reflexión contraria: *Si algo habla, ¿tiene pensamiento?, ¿es inteligente?, ¿es humano?*

En nuestros días, todo posee la etiqueta de «inteligente». El automóvil, el teléfono celular, los sistemas de multas, algunos refrigeradores, algunas secadoras de pelo, tratamientos de belleza, etc.

Mercadotécnicamente, nos agrada que nuestro teléfono sea clasificado como «inteligente» a pesar de que se trabe, no nos avise cuando llegan correos importantes de forma inexplicable, no pueda platicar con nosotros o salvarse a sí mismo si cae a la taza del baño. Los teléfonos inteligentes están muy lejos de ser como C3PO –de «Star Wars»– que pueden traducir seis millones de lenguas y que puede, torpemente, salvarse a sí mismo.

Lo mismo sucede en el caso de las computadoras. Son muy inteligentes, hasta que fallan estrepitosamente.

En este capítulo, daré una revisión muy breve e incompleta acerca de la inteligencia artificial. La discusión teórica en la cual se fundamenta esta tesis tiene alcances en este campo, esa es la razón por la que incluyo un capítulo que explica, de manera muy escueta, sus fundamentos. Me centraré específicamente en delimitar qué es la *inteligencia artificial* y mostraré un poco ciertas cuestiones que tienen que ver con el lenguaje.

3.1. ¿Qué es la «inteligencia artificial»?

Existen múltiples enfoques en el campo de la «inteligencia artificial» (IA) para explicar su objeto de estudio. Su nombre, en sí, entraña ya serias dificultades conceptuales acerca de lo que entendemos como «inteligencia» y su relación con la mente. Las definiciones que se han elaborado en el transcurso de esta joven disciplina denotan, a mi parecer, que existen por lo menos dos corrientes que persiguen objetivos diferentes.

Por un lado, existe una rama a la cual podemos llamar «teórica» que está íntimamente ligada con las «ciencias cognitivas» la cual está interesada en descubrir qué es la «inteligencia en sí», cómo es que funciona la mente, como podemos formular modelos que expliquen los procesos mentales, el desarrollo de redes neurales artificiales para explicar las «naturales» y la discusión filosófica entre la «mente biológica» y la «mente electrónica».

Por otro lado está la rama «aplicada» –por darle un nombre– la cual está centrada en el desarrollo de sistemas inteligentes, el uso de redes neurales artificiales para lograr ciertos procesos, el procesamiento de la información, la adaptación de «agentes» a su entorno y el uso de la «inteligencia» en diferentes ramas de la ingeniería y la computación.

Dicho esto, podemos revisar un par de definiciones de la «inteligencia artificial» para entender mejor este campo.

David C. Marr en su artículo «La inteligencia artificial: un punto de vista personal» (Marr, 1994) la define de la siguiente manera:

La inteligencia artificial es el estudio de problemas complejos de procesamiento de la información que a menudo tienen sus raíces en algún aspecto del procesamiento biológico de información. El objetivo de esta disciplina es identificar problemas interesantes y resolubles del procesamiento de información para solucionarlos.

Como vemos en esta definición, aquí no se busca ni «imitación» ni «explicación»: la inteligencia artificial es el procesamiento de datos. Una vez que podamos procesar datos de manera mucho más eficiente, tal vez y solo tal vez, logremos dar cuenta del procesamiento biológico de la información.

Roger Penrose, quien es una de las voces comunes en este campo, en su libro «La mente nueva del emperador» (Penrose, 2002, p. 18) explica:

Los objetivos de la IA son imitar por medio de máquinas, normalmente electrónicas, tantas actividades mentales como le sea posible, y quizá, llegar a mejorar las que llevan a cabo los seres humanos. El interés por los resultados de la IA procede al menos de cuatro direcciones. En concreto tenemos el estudio de la *robótica* que está interesada, sobre todo, en la aplicación industrial de los dispositivos mecánicos que puedan realizar tareas «inteligentes» –tareas de una variedad y complejidad que habían exigido anteriormente la intervención humana– [...]. También es de interés comercial, así como general, el desarrollo de los llamados *sistemas expertos*, con los que se intenta codificar el conocimiento esencial de toda una profesión: medicina, abogacía, etc. [...] Otra área en la que la IA podría tener importancia directa es la *psicología*: se confía que tratando de imitar el comportamiento de un cerebro humano (o de cualquier otro animal) mediante un dispositivo electrónico –o fracasando en el intento– podamos aprender cosas importantes sobre el funcionamiento cerebral. Finalmente, existe entre los optimistas la esperanza de que la IA tuviera algo que decir sobre cuestiones profundas de la *filosofía* que nos proporcionara algunos elementos nuevos del concepto «mente» [...]

Como podemos notar, Penrose también divide el estudio de la IA en ramas. Las dos primeras serían a las que yo he llamado «aplicadas»: la robótica y el desarrollo de sistemas inteligentes. Él indica algo de importancia absoluta; al igual que en cualquier disciplina «aplicada» sus objetivos son absolutamente *comerciales e industriales*.

Por el otro lado, Penrose indica dos ramas que yo he englobado como «teóricas»: la psicología y la «filosofía de la mente». Como podemos notar, hay cierto «desdén» por estas ramas por parte de Penrose. Considero que es debido al abandono de las humanidades en campos como la IA. Muchos humanistas prefieren no meter las manos en estos temas debido a que lucen, a simple vista, demasiado técnicos.

Una de las definiciones más lúcidas y más completas, desde mi punto de vista, la ofrece Margaret Boden, quien, en la introducción de su antología «Filosofía de la inteligencia artificial» (Boden, 1994, p. 9) dice:

A menudo se ha definido a la inteligencia artificial (IA) como el estudio de la manera en que pueden construirse o programarse computadoras para que realicen el tipo de cosas que la mente puede hacer.

[...] resulta preferible utilizar la definición de IA que afirma que la inteligencia artificial diseña computadoras para que hagan «cosas que requerirían inteligencia, si las hicieran personas». Esto presupone, empero, que las computadoras podrían hacer lo que las mentes; es decir, que en realidad tienen la capacidad para diagnosticar, asesorar, inferir y comprender. Esta suposición problemática podría evitarse [...] al definir en cambio, la IA como «la creación de computadoras cuyo desempeño observable tiene características que, en los seres humanos, atribuiríamos a procesos mentales». Algunos de los que trabajan en el campo de la IA, en particular los interesados en la producción de herramientas tecnológicas con fines comerciales, considerarían aceptable esta definición vaga.

Sin embargo, muchos otros estarían en favor de una definición más controvertida, la cual considera la IA como *la ciencia de la inteligencia en general* o, más precisamente, como la médula intelectual de las ciencias cognitivas [...]

Boden «pone el dedo en la llaga» afirmando que la mayor parte de las definiciones «comunes» de IA están motivadas por intereses meramente comerciales. Sin embargo, en el fondo, el núcleo teórico de la IA es puramente científico-académico el cual está más preocupado por entender «la inteligencia» *per sé*, que en fabricar la «máquina inteligente. Boden (1994, p. 9-10)continúa:

Como tal, su objetivo consistiría en proporcionar una teoría sistemática que pudiese explicar (y quizá nos permitiera duplicar) tanto las categorías generales de la intencionalidad como las diferentes capacidades psicológicas fundadas en ellas. Por consiguiente, la IA no sólo debe abarcar la psicología de las criaturas terrestres sino toda la gama de mentes posibles; debe decirnos también si la inteligencia únicamente ha de incorporarse en sistemas cuya estructura básica se asemeja a la del cerebro (hecho que entrañaría procesos paralelos en redes de células relacionadas) o si podría aplicarse de algún modo. Y una vez omitida la palabra «computadoras» de la definición, debería comprobarse la especial importancia que tienen para esta ciencia. La multiplicidad de problemas filosóficos relacionados con la IA parten de la pregunta si esta ambiciosa empresa puede lograrse (y en consecuencia cómo) o si es que se ha concebido en forma radicalmente incorrecta.

De aquí se desprende que la filosofía de la IA (considerada como la ciencia de la inteligencia en general) se relaciona en forma directa con filosofías de la mente, del lenguaje, y de la epistemología y que es

fundamental en la filosofía de las ciencias cognitivas; en particular la psicología de la computación.

La inteligencia artificial, por lo tanto, es *el estudio de «la inteligencia» o de «lo inteligente»*. Para construir algo «inteligente» tenemos que descubrir las características que involucran esa categoría. Esto implica que se trata de un problema epistemológico que ubica a la IA en el campo de la filosofía y de las matemáticas más que en el campo de la ingeniería. Entender la inteligencia en general también requiere del estudio tanto físico como metafísico de su soporte: el cerebro y la mente. Además de ello, el estudio de sus estructuras físicas y metafísicas; aquí es donde entra el «lenguaje».

¿Qué es «inteligente»? Wittgenstein nos diría que uno de los principales problemas para definirlo es que su significado depende de la pragmática: la palabra «inteligente» es la suma de sus contextos de uso.

Hofstadter en «Gödel, Escher, Bach» (2007, p. 29-30) dice al respecto:

No hay quién sepa dónde está la raya divisoria entre la conducta no-inteligente y la conducta inteligente; más aun, el sólo decir que existe una tajante raya divisoria es probablemente una estupidez. Pero hay capacidades que son, desde luego, características de la inteligencia:

- responder muy flexiblemente a las situaciones;
- sacar provecho de circunstancias fortuitas;
- hallar sentido en mensajes ambiguos o contradictorios;
- reconocer la importancia relativa de los diferentes elementos de una situación;
- encontrar semejanzas entre varias situaciones, pese a las diferencias que puedan separarlas;
- descubrir diferencias entre varias situaciones, pese a las semejanzas que puedan vincularlas;
- sintetizar nuevos conceptos sobre la base de conceptos viejos que se toman y se reacomodan de nuevas maneras;
- salir con ideas novedosas.

Aquí nos topamos con algo que suena a paradoja. Por su naturaleza misma, las computadoras son los animales más inflexibles, los más privados de deseos, los más seguidores de reglas. Pese a su gran rapidez, son el epítome de la inconciencia. ¿Cómo programar entonces la conducta inteligente?

Finalmente, mostraré una definición que está a medio camino entre las dos ramas. Se expone en «Inteligencia Artificial: un enfoque moderno» de S. J. Russell y Norvig (2004, p. XIX):

Definimos la IA como el estudio de los agentes que reciben percepciones del entorno y llevan a cabo las acciones. Cada agente implementa una función la cual estructura las secuencias de las percepciones en acciones; también tratamos las diferentes formas de representar estas funciones, tales como sistemas de producción, agentes reactivos, planificadores condicionales en tiempo real, redes neurales y sistemas teóricos para las decisiones.

Este es el llamado «enfoque del agente racional» el cual elimina la idea de intentar «simular a un humano» o de «simular un sistema cognitivo completo» y se enfoca más en las acciones que realiza y no en sus procesos internos.

3.2. Enfoques en la inteligencia artificial

Dada la complejidad y dificultad para aprehender un objeto de estudio tan singular y complejo como lo es *el cerebro y la mente* –o el objeto constituido por ambos– a lo largo de la historia de la inteligencia artificial han surgido diferentes enfoques de acercamiento a la «inteligencia» y las funciones mentales, tanto como su investigación.

Existen tantos enfoques como uno se pueda imaginar. Desde aquellos muy centrados en la biología molecular o la neurología hasta aquellos que podemos llamar «religiosos» o metafísicos, pasando por un amplio espectro de enfoques que engloban áreas dispares como la estadística, la robótica, la psicología, la lógica, etc. Incluso, hay quien dice que ya no se puede hablar de la inteligencia artificial como un solo bloque, sino que hay «inteligencias artificiales».

En los últimos años ha variado tanto la concepción hacia este tema que las barreras entre enfoques se han vuelto difusas, además de que es difícil ya que la terminología o los nombres de ellos no son convencionales: cada autor llama o engloba dentro de los enfoques a lo que cree que se debería incluir en ellos.

Describir cada enfoque o hacer un recuento detallado de cada uno de sus puntos de vista o, tan siquiera, de su historia requeriría un trabajo el doble de amplio que este. Para abreviar, describiré solo dos: «el de agentes» y el «conexionista» el cual, a su vez, está integrado por dos ramas: el «simbólico» y el «subsimbólico» –aunque muchos le llaman «conexionista» a secas–. La razón de elegir estos enfoques es, en sí, arbitraria. Los he elegido porque sirven para explicar mi modelo –qué es y qué no es– además de que son, por así decirlo, los más populares en las investigaciones actuales de IA.

Antes de mostrar estos enfoques, quiero hacer una pequeña nota.

En la mayor parte de las disciplinas, los enfoques en cuanto al objeto de estudio crean divisiones amplias y, en la mayor parte de los casos, insalvables. Es decir, un investigador de cierto enfoque desestimaré –en mayor o menor medida– los otros. Existen aquellos que consideran el enfoque de sus investigaciones «la única verdad posible» y otros que son más flexibles.

Por mi parte –por lo menos en lingüística– soy del segundo tipo. Es decir, no considero al generativismo la «única verdad aparente» y considero que otros enfoques –variacionismo (del cual soy un fanático absoluto), lingüística cognitiva, funcionalismo, etc.– son, en realidad, complementarios uno del otro.

Sucede lo mismo con los enfoques de la IA: a pesar de sus notables divisiones, considero que, en realidad, se tratan de formas de estudiar el mismo objeto las cuales se complementan.

Dicho esto, veamos los enfoques.

3.2.1. Enfoque de agentes racionales

Es el enfoque que está *en boga* en los círculos de la robótica dentro de la IA y ha tomado fuerza con la creación de vehículos autotripulados de los últimos años –drones y automóviles de «piloto automático»–. El llamado «enfoque del agente racional» es aquél que está más ligado la visión «aplicada» de la IA –y por tal, la que más interés comercial provoca– ya que está ideada para perseguir objetivos de robótica y «aplicaciones» o programas comerciales.

En este enfoque la figura central es la del «agente».

Un agente es algo que razona (*agente* viene del latín *agere*, «hacer»). Pero de los agentes informáticos se espera que tengan otros atributos que los distinguen de los «programas» convencionales, como que estén dotados de controles autónomos, que perciban su entorno, que persistan durante un período de tiempo prolongado, que se adapten a los cambios, y que sean capaces de alcanzar objetivos diferentes. Un agente racional es aquel que actúa con la intención de alcanzar el mejor resultado o, cuando hay incertidumbre, el mejor resultado esperado. (S. J. Russell y Norvig, 2004, p. 37-38)

Como podemos apreciar, el «enfoque del agente racional» se encuentra en función de la actuación del mecanismo y no de la máquina en sí. Su «medida» corresponde a los resultados a los que lo lleve su programación. La idea en este enfoque es programar la IA de manera que siempre llegue al resultado óptimo o, si no es posible, emprenda acciones lo lleven a un resultado cercano al óptimo.

Es importante notar que en ningún momento se está hablando, en cuanto al «agente» en que sea de composición mecánica o electrónica; sino en la forma en la que actúa.

Un agente es cualquier cosa capaz de percibir su medioambiente con la ayuda de sensores y actuar en ese medio utilizando «actuadores». (S. J. Russell y Norvig, 2004, p. 37)

Plantear que es «cualquier cosa» abre la posibilidad incluso a que estemos hablando de agentes de tipo orgánico. La diferencia entre un agente orgánico y uno mecánico es la capacidad para dar cuenta del mejor resultado posible.

Un agente humano tiene ojos, oídos y otros órganos sensoriales además de manos, piernas, boca y otras partes del cuerpo para actuar. Un agente robot recibe pulsaciones del teclado, archivos de información y paquetes vía red a modo de entradas sensoriales y actúa sobre el medio con mensajes en el monitor, escribiendo ficheros y enviando paquetes por la red. Se trabajará con la hipótesis general de que cada agente puede percibir sus propias acciones (pero no siempre sus efectos) (S. J. Russell y Norvig, 2004, p. 38).

Si planteamos la cuestión de la percepción, podemos inferir que un agente –cualquiera que este sea– tiene un sistema de entrada –un *input*– y el resultado óptimo sería la salida –*output*–.

El término percepción se utiliza en este contexto para indicar que el agente puede recibir entradas en cualquier instante. La secuencia de percepciones de un agente refleja el historial completo de lo que el agente ha recibido. En general, *un agente tomará una decisión en un momento dado dependiendo de la secuencia completa de percepciones hasta ese instante*. Si se puede especificar qué decisión tomará un agente para cada una de las posibles secuencias de percepciones, entonces se habrá explicado más o menos todo lo que se puede decir de un agente. En términos matemáticos se puede decir que el comportamiento del agente viene dado por la función del agente que proyecta una percepción dada en una acción. (S. J. Russell y Norvig, 2004, p. 38)

3.2.2. Enfoques conexionistas

El enfoque conexionista es el «estado del arte» en cuanto a inteligencia artificial se refiere. Por su versatilidad y formalidad es el que más empuje y más desarrollo ha tenido en los últimos años. Sin embargo, dada su metodología y la

delimitación de su objeto de estudio se ha ido dividiendo a su interior de manera que prácticamente, ya no se puede hablar de él como un solo enfoque sino como una «familia» de ellos. Sin embargo, existen dos subsistemas clásicos que reciben el nombre de «conexionistas».

En «Redes de neuronas artificiales», Isasi Viñuela y Galván León (2004, 1-2) explican esto de manera clara y sintética:

Dentro de la Inteligencia Artificial se pueden distinguir dos grandes áreas. Una se ocupa de la construcción de sistemas con características que se pueden definir como inteligentes. A este campo se le denomina Inteligencia Artificial Simbólica. En este caso, se define el problema a resolver y se diseña el sistema capaz de resolverlo siguiendo esquemas prefijados por la disciplina. Los Sistemas Expertos siguen este esquema: se introduce una serie de reglas lógicas que recogen el conocimiento de un experto sobre una materia, y mediante mecanismos de inferencia parecidos a los que empleamos al razonar, se sacan conclusiones. En la Inteligencia Artificial Simbólica se dice que los sistemas siguen un esquema de arriba hacia abajo (en inglés *top-down*) ya que es necesario disponer de una aproximación a la solución del problema y diseñarla completamente.

Frente a esta perspectiva se encuentra la otra gran área de la Inteligencia Artificial, la Subsimbólica. En este caso no se realizan diseños a alto nivel de sistemas capaces de resolver los problemas utilizando las técnicas de la disciplina, sino que se parte de sistemas genéricos que van adaptándose y construyéndose hasta formar por sí mismos un sistema capaz de resolver el problema. [...] La perspectiva subsimbólica trata de estudiar los mecanismos físicos que nos capacitan como seres inteligentes, frente a los programas de computador clásicos que son simples autómatas que obedecen órdenes muy concretas. El mecanismo fundamental que capacita a los seres vivos para la realización de tareas sofisticadas no preprogramadas directamente es el sistema nervioso. Desde este punto de vista la perspectiva subsimbólica trata de estudiar los mecanismos de los sistemas nerviosos, del cerebro, así como su estructura, funcionamiento y características lógicas, con la intención de diseñar programas basados en dichas características que se adapten y generen sistemas capaces de resolver problemas. En este caso el diseño es de abajo hacia arriba (*bottom-up*), ya que los sistemas diseñados son simples e idénticos, recogen las características físicas de los sistemas que tratan de imitar, y se van generando cómputos

cada vez más complejos, de forma automática, mediante mecanismos prefijados de aprendizaje.

Por lo tanto, el enfoque conexionista lo que busca es establecer relaciones entre la *mente* y el *cerebro*. La división entre lo simbólico y lo subsimbólico es, en realidad, desde donde proceder. El enfoque «conexionista simbólico» cree que podemos iniciar por el estudio de la mente y de allí ir, poco a poco, llegar a estudiar cómo es que reside en el cerebro *-top-down-*; por el contrario, el subsimbólico afirma que lo ideal es comenzar por el estudio total de las unidades mínimas cerebrales *-las neuronas-* y, desde allí, ir dilucidando cómo es que sus relaciones crean la arquitectura de la mente *-bottom-up-*.

Explicaré con un poco de más detalle esta división.

3.2.2.1. Enfoque simbólico

Este enfoque conexionista también es llamado llamado «cognitivo» debido a que su nivel de interés inicia desde las estructuras y los mecanismos de la mente, es decir, los puntos metafísicos de la actividad cerebral. También llega a recibir el nombre técnico de GOFAI debido a la terminología usada por John Haugeland en «*Artificial Intelligence: The Very Idea*» (Haugeland, 1989, p. 112-113):

El punto, más bien, es mantener la claridad conceptual, manteniendo las riendas apretadas sobre la terminología. Para remarcar este uso más cuidadoso, he capitalizado «Inteligencia Artificial»; pero, por si esto no fuera suficiente o si otra persona quiere que estas palabras para otro asunto, también podemos hablar de manera más explícita de lo que llamaré «La vieja y buena inteligencia artificial» [*Good Old Fashioned Artificial Intelligence*], GOFAI para abreviar.

GOFAI, al ser una rama de la ciencia cognitiva, se basa en una teoría particular de la inteligencia y el pensamiento; esencialmente en la idea de Hobbes de que *el raciocinio es computación*. Debemos apreciar que esta tesis es sustantivamente empírica: no es trivial o tautológica; sin embargo, dice algo acerca del mundo que podría ser falso.¹

¹«The point, rather, is to maintain conceptual clarity by keeping tight reins on terminology. To mark the intended careful usage, I have capitalized "Artificial Intelligence" throughout; but, lest that not be enough, or if someone else wants these words for another role, we may also speak more explicitly of what I shall call Good Old Fashioned Artificial Intelligence-GOFAI, for short. GOFAI, as a branch of cognitive science, rests on a particular theory of intelligence and thought-essentially Hobbes's idea that ratiocination is computation. We should appreciate that this thesis is empirically substantive: it is not trivial or tautological, but actually says something about the world that could be false.» *La traducción es mía*.

Este enfoque, cómo es fácil de suponer, tiene sus objetivos anclados en la IA «teórica». Este enfoque no se basa en los resultados, sino en los procesos. Está más concentrado en el procesamiento de la información que, plenamente, en el *output* de dicho procesamiento.

En el «enfoque de modelo cognitivo» (S. J. Russell y Norvig, 2004, p. 3) el objetivo es justamente el desentrañar los procesos de pensamiento que ocurren dentro del cerebro y su paralelismo en «cerebros artificiales».

Para poder decir que un programa dado piensa como humano, es necesario contar con un mecanismo para determinar cómo piensan los humanos. Es necesario *penetrar* en el funcionamiento de las mentes humanas. Hay dos formas de hacerlo: mediante introspección (intentando atrapar nuestros propios pensamientos conforme éstos van apareciendo) y mediante experimentos psicológicos. Una vez que se cuente con una teoría lo suficientemente precisa sobre cómo trabaja la mente, se podrá expresar esa teoría en la forma de un programa de conmutador. Si los datos de entrada/salida del programa y los tiempos de reacción son similares a los de un humano, existe la evidencia de que algunos de los mecanismos del programa se pueden comparar con los que utilizan los seres humanos. (S. J. Russell y Norvig, 2004, p. 3-4)

La agenda de investigación del «enfoque de modelo cognitivo» no está ideado para producir, en primera línea, *programas que hagan algo* ya que todo debe de iniciar en postular cuáles son los procesos que se intentará imitar por medio de modelos computacionales.

Hay que notar que S. J. Russell y Norvig indican que es válido, en este enfoque, realizar «introspección y experimentos psicológicos» como pruebas válidas. Este tipo de pruebas son usuales en el generativismo, lo cual han desatado una polémica al interior de la lingüística en cuanto la validez de sus postulados.

S. J. Russell y Norvig (2004) continúan:

En el campo interdisciplinario de la ciencia cognitiva convergen modelos computacionales de IA y técnicas experimentales de psicología intentando elaborar teorías precisas y verificables sobre el funcionamiento de la mente humana. La ciencia cognitiva es un campo fascinante, merecedora de una enciclopedia dedicada a ella (Wilson y Keil, 1999).

[...] La auténtica ciencia cognitiva se fundamenta necesariamente en la investigación experimental en humanos y animales, y en esta

obra se asume que el lector sólo tiene acceso a un computador para experimentar.

En los comienzos de la IA había confusión entre las distintas aproximaciones: un autor podría argumentar que un algoritmo resolvía adecuadamente una tarea y que por tanto era un buen modelo de representación humana, o viceversa. Los autores actuales hacen diferencia entre las dos reivindicaciones; esta distinción ha permitido que ambas disciplinas, IA y ciencia cognitiva, se desarrollen más rápidamente. Los dos campos continúan alimentándose entre sí, especialmente en las áreas de la visión y el lenguaje natural. En particular, el campo de la visión ha avanzado recientemente con la ayuda de una propuesta integrada que tiene en cuenta la evidencia neurofisiológica y los modelos computacionales.

Hay varias cosas que apuntar en este breve resumen que ofrecen los autores en cuanto al «enfoque de modelo cognitivo». En primera, podemos notar que se indica que este enfoque es bastante amplio ya que tendría conexiones fuertes con ciertos campos externos de la multidisciplinaria «ciencia cognitiva» –como lo es la lingüística–. Dado que este enfoque está centrado en dilucidar cuáles son las características que definen al cerebro y la mente, se requiere que la investigación se extienda a otros tipos de cerebro, como el cerebro animal.

El siguiente capítulo tratará, en extenso, las cuestiones concernientes con el cerebro y la comunicación animal, así como la neurobiología y la genética asociada al lenguaje.

Si comparamos entre el enfoque de «agentes» y el «simbólico-cognitivo» podemos notar que, en realidad, sus postulados no son para obtener un objeto físico, sino para desentrañar ciertas funciones cerebrales de importancia para las ciencias cognitivas.

En el libro «*Artificial dreams*» (Ekbia, 2008) se hace la diferencia entre el enfoque «simbólico» y el «conexionista» en cuanto al lenguaje. Para explicar cómo es que el enfoque «simbólico-cognitivo» funciona, Ekbia (2008, 175-176) indica:

A lo que usualmente nos referimos como «enfoque simbólico» son los estudios que lidian con fenómenos cognitivos en el *nivel psicológico*; es decir, a nivel de las creencias, metas, planes, etc., las cuales están codificadas como frases dentro de un lenguaje y se encuentran relacionadas por medio de reglas de inferencia. Un modelo de procesamiento del lenguaje en esta tradición debería incluir, en particular, los módulos que tienen que ver con los fenómenos de lenguaje de *alto nivel*, como una gramática (un conjunto de reglas sintácticas y semánticas), un algoritmo de análisis sintáctico (especificando el orden de

aplicación de las reglas gramaticales, la regulación de los importes arriba hacia abajo [top-down] o de abajo hacia arriba [bottom-up] de procesamiento, asignación dinámica de recursos de memoria, etc.), y un oráculo (un procedimiento para decidir entre interpretaciones rivales de una frase). La investigación dentro de este tipo de marco implicaría el diseño de los módulos (a menudo independientes el uno del otro), la creación de una interfaz interactiva, la selección de un vocabulario, y depurar las rutinas hasta que se obtiene un comportamiento predecible.²

Como podemos ver, el enfoque «simbólico-cognitivo» aplicado al lenguaje no buscaría la creación de traductores automáticos o programas de reconocimiento de voz. Lo que hace, es postular una serie de «modelos» de lenguaje en sus diferentes niveles de análisis.

Pero, ¿qué es un «modelo»? Durante esta exposición, he usado esta palabra en varias ocasiones. ¿Qué es un modelo para la IA y la ciencia cognitiva, entonces? El «modelo» es la pieza central para este enfoque –en contraposición al «agente» del enfoque de actuación–.

Adrian Cussins, en su artículo «La construcción conexionista de conceptos» (Cussins, 1994, p. 410) da una buena descripción de lo que es un «modelo» –sobre el «conexionismo» hablaré mas adelante.

Un «modelo» es un artefacto de cómputo del que se afirma que tiene importancia para la explicación psicológica. Un modelo es tan sólo un objeto físico. ¿Cómo se extraen de él las explicaciones psicológicas?

Una teoría de la ciencia cognoscitiva («una teoría») es una articulación estructurada de explicaciones psicológicas que se basan en el funcionamiento del modelo. La teorización en la ciencia cognoscitiva se basa, por consiguiente, en una concepción de la relación que existe

²«What is usually referred to as the “symbolic approach” deals with cognitive phenomena at the psychological level – that is, at the level of beliefs, goals, plans, and so on, which are encoded as language-like sentences, and related to each other by inference rules. A model of language processing in that tradition would typically involve modules that deal with high-level language phenomena, such as a grammar (a set of syntactic and semantic rules), a parsing algorithm (specifying the order of application of grammatical rules, regulating the amounts of top-down or bottom-up processing, dynamically allocating memory resources), and an oracle (a procedure for deciding among rival interpretations of a phrase) (Steedman 1999). Research within this type of framework would involve designing the modules (often independent of each other), creating an interactive interface, selecting a vocabulary, and debugging the routines until predictable behavior is obtained.» *La traducción es mía*.

entre los artefactos de cómputo y las explicaciones psicológicas. La teoría de la representación funge como mediadora de esta relación.

Una representación es en sí un objeto físico que tiene dos tipos de propiedades: las del «vehículo» de la representación y las del «contenido» de la representación. [...]

Entonces, un «modelo» es cualquier artefacto de cómputo. Con ello no quiere decirse que tenga que ser, necesariamente, computacional –que se requiera una computadora para su desarrollo– sino con una concepción teórica hacia cierto fenómeno mental. La idea de que la sintaxis, dentro de la mente, corresponde a un «órgano mental» el cual posee características similares a una máquina de Turing o a un modelo de Von Neumann es, en sí, un «modelo sintáctico». La teorización, en cuanto a este modelo, es el generativismo, como se puede presuponer. ¿Cómo es que este modelo sintáctico puede mediar entre la «mente biológica» y la «mente electrónica»?

En un modelo, las propiedades de un *vehículo* de representación son todas las propiedades que tienen efecto computacional (por ejemplo, las propiedades sintácticas del código LISP). Son propiedades que afectan al funcionamiento computacional del modelo. Y las propiedades que forman el contenido de la representación son todas las que tienen un efecto psicológico (por ejemplo, las propiedades semánticas de ámbito de la tarea del código LISP). Son propiedades que afectan a las explicaciones psicológicas del modelo. Así, por un lado las propiedades de una representación desempeñan un papel en la explicación psicológica y, por el otro, desempeñan un papel en el funcionamiento computacional del modelo. La teoría de la representación es la que establece el vínculo entre ambos conjuntos de propiedades y, por consiguiente, establece la conexión entre el funcionamiento computacional y la explicación psicológica. La teoría de la representación es la que nos permite extraer de los objetos físicos computacionales la importancia psicológica; es decir, obtiene una teoría a partir de un modelo.

Si la ciencia cognoscitiva implica obtener una teoría psicológica a partir de un modelo computacional, y si una teoría de la representación es la manera de hacerlo, entonces, para comprender la naturaleza de la teorización en la ciencia cognoscitiva necesitamos entender la relación que existe entre la computación, los vehículos de representación, el contenido de la representación y la explicación psicológica.

(Cussins, 1994, p. 410)

Desentrañemos esto porque es de vital importancia para esta tesis. Partamos de una pregunta básica: *¿cómo lograr explicar la mente por medio de la programación?* Es decir, tenemos el nivel de la explicación psicológica: «la mente funciona así». Por otro lado están las estructuras computacionales; por ejemplo, «un algoritmo es esto».

Una vez hecho esto, requerimos una «teoría de la representación» que conecte ambos niveles. En el caso de este estudio, el «vehículo de la representación» es la lingüística en sí y su «contenido de la representación» sería el nivel sintáctico de análisis.

Un modelo, en la IA es un *punte* entre lo cognitivo y lo computacional. El puente que yo he tendido es la hipótesis de investigación de este trabajo: *¿la sintaxis de las lenguas naturales es representable en un algoritmo computacional?*

Existen diversos «puentes» que se pueden tender entre la «mente biológica» y la «mente artificial». En la lingüística pueden ser, como contenidos de la representación, la fonética –en el reconocimiento de voz–, la semántica –el contenido vericondicional–, etc. Además puede haber otros vehículos, como el entendimiento, la inteligencia, la visión, la percepción entre otros.

Para entender esto mejor, Cussins (1994) nos muestra el siguiente cuadro:



Figura 3.1: «Los cuatro niveles de análisis en la ciencia cognoscitiva». Tomado de Cussins (1994, 411)

3.2.2.2. Enfoque conexionista subsimbólico o «conexionista puro».

Este es, posiblemente, el enfoque más extendido en la inteligencia artificial. Generalmente se le conoce simplemente como «enfoque conexionista» ya que se le considera su mejor faceta, debido a su aplicabilidad. La razón es que funciona muy bien para el desarrollo de software por lo cual, sus objetivos son meramente «aplicados». Sirve especialmente para el manejo de bases de datos, el análisis de grandes cúmulos de información, la traducción automática, los sistemas de búsqueda automatizada, entre otros.

La idea que subyace en el enfoque conexionista subsimbólico –o, simplemente, «conexionista»– consiste en que no es necesario concentrarse en la serie de «ór-

ganos mentales» sino que, al imitar la arquitectura cerebral perfectamente, éste podrá realizar las mismas funciones que un cerebro humano normal, incluidas las tareas del lenguaje, el aprendizaje, la memoria, etc. (Ekbia, 2008, p. 177). Es decir, la cuestión que plantea el conexionismo es que cometemos un error al intentar postular cuál es el «software» de la mente ya que es difuso e intangible –en el caso del lenguaje, es más fácil acceder a la «lengua» y el «habla» pero no a los mecanismos mentales–. Lo que debemos hacer es concentrarnos en lo tangible, en el «hardware» del cerebro. Al crear algo que se comporte de manera similar a un cerebro humano tendremos, al fin y al cabo, las mismas funciones que un cerebro humano cumple.

La lógica detrás de este enfoque responde a las investigaciones en neurología que han demostrado cómo es que ciertas partes del cerebro poseen funciones cognitivas las cuales se ven afectadas cuando las áreas del cerebro involucradas se dañan de manera física. Esto es evidente en las lesiones en el área de Broca y el cuadrángulo de Wernicke en pacientes con afasia.

Para lograr emular las funciones de estas áreas, se requiere también de la emulación de su componente más básico: la neurona.

A diferencia del enfoque simbólico, el enfoque conexionista está motivado por la arquitectura de «bajo nivel» del cerebro; de ahí que el término «redes neuronales artificiales» sea aplicado a los modelos conexionistas. Al igual que el cerebro, que es una red que consta de un gran número de neuronas estrechamente conectados, las redes artificiales se componen de un gran número de «nodos» interconectados (normalmente indicados como círculos en los diagramas), algunos de los cuales sirven como nodos de «entrada» [input], algunos como nodos de «salida» [output] y otros como nodos «ocultos» [hidden] (sin conexión directa con el mundo exterior; los modelos más simples no tienen nodos ocultos). (Ekbia, 2008, p. 177)

Para el enfoque conexionista, no se requiere crear una neurona física. Las neuronas reciben señales que las excitan con lo que emiten un impulso. Dicho impulso es la señal que excita a otras neuronas, interconectadas a la primera, las cuales generan más impulsos. Con esto, se crea una red de impulsos interneuronal. (McCulloch y Pitts, 1943). Esta idea fue ampliamente discutida a partir de un artículo de McCulloch y Pitts titulado «*A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity*» en cual se demostraba que es posible equiparar la actividad neuronal a bits de información ON/OFF con lo cual las redes neuronales podían ser equiparadas a una máquina de Turing³.

³He simplificado de manera casi absurda las ideas de McCulloch y Pitts debido a problemas de espacio en mi exposición. En todo caso recomiendo ir al artículo original y, sobre todo, leer el

El primer ejemplo que puede considerarse como una red de neuronas artificial, al menos estructuralmente, son las células de McCulloch-Pitts. Este primer modelo de neurona fue propuesto por Warren McCulloch y Walter Pitts en 1943 en el artículo “A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity” [McCulloch and Pitts, 1943]. En él modelizaban una estructura y un funcionamiento simplificado de las neuronas del cerebro, considerándolas como dispositivos con sólo dos estados posibles: apagado (0) y encendido (1).

A partir del modelo de neurona de McCulloch-Pitts se define el primer modelo de red neuronal:

Una red neuronal es una colección de neuronas de McCulloch y Pitts, todas con las mismas escalas de tiempos, donde sus salidas están conectadas a las entradas de otras neuronas.

De este modo, una salida puede actuar sobre varias entradas, pero una entrada viene a lo sumo de una salida. La red tiene contacto con el exterior a través de líneas de entrada y de salida. Las líneas de entrada de la red formarán parte de la entrada de alguna o de todas las neuronas de la red. Asimismo, las líneas de salida procederán de algunas o de todas las neuronas de la red.

Esta formalización matemática de la red neuronal no es y no pretende ser una modelización del cerebro, pero sí un punto de partida para iniciar los estudios sobre el mismo. (Isasi Viñuela y Galván León, 2004, p. 23-24)

En cuanto se ha avanzado en los estudios de la «teoría de redes», la actividad neuronal ha podido aprehenderse como una red «virtual» de neuronas las cuales emiten impulsos en tres capas: una de entrada, una oculta y otra de salida. En la siguiente figura podemos ver un grafo que representa una red neural básica. Como podemos observar, cada neurona –o la simulación de ella– funciona como un nodo de entrada y salida.

artículo «La construcción de una mente versus el modelaje del cerebro: La inteligencia artificial regresa a un punto de ramificación» de Dreyfus y Dreyfus (1994). Para una explicación aún más simple, recomiendo el capítulo tres de la novela «El quinteto de Cambridge» de Casti (1998).

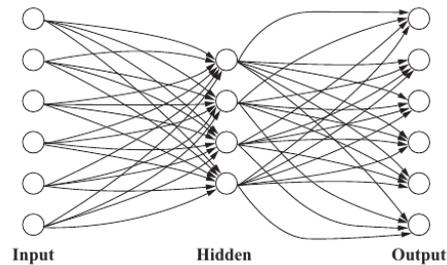


Figura 3.2: Red neuronal básica de tres capas. Tomado de Ekbia (2008, p. 177)

Esta configuración permite, sobre todo, crear un sistema de reglas que esté destinado al «aprendizaje» de un sistema formal por medio de un «entrenamiento». Este «aprendizaje» puede ser por medio de autómatas o por medio de *cadena de Markov*. El entrenamiento no es más que ajustar que la señal de *entrada* corresponda con la de *salida*. En caso de que no ocurra esta correspondencia, entonces se pueden diseñar mecanismos que corrijan esta señal, con lo cual decimos que la red «ha aprendido».

Los nodos de una red neural están interconectados en formas que dependen de una arquitectura específica. La *fuerza* de la conexión entre dos nodos se indica mediante un valor numérico, su *peso* y el conjunto de todos los valores de conexión que constituye su patrón de conectividad. El *entrenamiento* de la red, que se lleva a cabo en pasos discretos, prosigue con la presentación del sistema con un conjunto de valores de entrada y deja modificar y ajustar su patrón de conectividad hasta que se produce una salida deseada. En cada paso, cada nodo tiene un nivel de *activación*, la cual también se indica por un valor numérico. La activación se calcula utilizando una *regla de activación* (una función que combina las entradas), y produce una salida de acuerdo con la *función de salida*. En la mayoría de los modelos, la regla de activación es lineal (los valores de entrada se añaden simplemente algebraicamente), y la función de salida es casi lineal (la salida es linealmente proporcional a la entrada hasta un cierto umbral en el que se corta). Para el entrenamiento, la red sigue una regla preespecificada de aprendizaje –por ejemplo, de retropropagación del error, en el que se compara la salida de la red, en cada paso, con valores de referencia proporcionados por un «maestro», y el error, si lo hay,

es realimentado a la red con el fin de ajustar los pesos de conexión.
(Ekbia, 2008, p. 177)⁴

Aunque no se logra una «reconstrucción del cerebro», los sistemas de redes neurales artificiales han sido bastante útiles y, relativamente, sencillos de lograr. Este modelo, por lo menos en estos momentos, permea casi por completo los desarrollos de lingüística computacional de nuestros tiempos.

Para tener una visión más clara del conexionismo, Ekbia (2008) nos ofrece una pequeña agenda de sus principales ideas:

La idea detrás de conexionismo es estudiar la mente y la cognición en un nivel que es mucho más cercano al sustrato neural que clásica IA permitía. Integrados en el enfoque conexionista están, por lo tanto, una serie de supuestos que pueden resumirse de la siguiente manera.

1. *Arquitectura sobre función*: El nivel adecuado para la comprensión (y formalización) del comportamiento cognitivo se encuentra por debajo del nivel simbólico. La metodología apropiada para la formalización es la construcción de arquitecturas similares a la neural. En resumen, la arquitectura es lo primario y la función es totalmente secundaria .

2. *Desacoplamiento*: Con suficiente «entrenamiento», una red neuronal se alinea lo suficiente con las regularidades del mundo exterior, tanto como para ser capaz de funcionar de forma autónoma y representar fielmente a esas regularidades.

3. *Aprendizaje*: Las redes neuronales se han diseñado para ser capaces de «aprender».

4. *Cableado previo*: El aprendizaje resulta de la modificación de las fuerzas de las conexiones interneuronales por medio de la experien-

⁴«The nodes of a neural network are interconnected in ways that depend on the specific architecture. The strength of the connection between any two nodes is indicated by a numerical value, its weight, and the set of all connection values constitutes a pattern of connectivity. The training of the network, which takes place in discrete steps, proceeds by presenting the system with a set of input values and letting it modify and adjust its pattern of connectivity until it produces a desired output. At each step, each node has an activation level, also indicated by a numerical value. The activation is computed by using the activation rule (a function that combines the inputs), and it produces an output according to the output function. In most models, the activation rule is linear (the input values are simply added algebraically), and the output function is quasi-linear (the output is linearly proportional to the input up to a certain threshold where it is cut off). For training, the network follows a prespecified learning rule – for example, backpropagation of error, in which the output of the network is compared, at each step, with reference values delivered by a “teacher,” and the error, if any, is fed back to the network in order to adjust the connection weights (Rumelhart, Hinton, and William 1986).» *La traducción es mía*.

cia, con el apoyo de reglas de aprendizaje innatas y elementos de su arquitectura.

5. *Adecuación*: Para cualquier tarea cognitiva hay, en principio, al menos una red conexionista –con una arquitectura adecuada y con normas de aprendizaje– la cual puede ser entrenada para llevar a cabo dicha tarea de manera satisfactoria.

6. *Reduccionismo neural*: La ciencia cognitiva es una investigación empírica en el sustrato neural de la cognición. (Ekbia, 2008, 179-180)⁵

El enfoque conexionista es el «estado del arte» en cuanto a el procesamiento del lenguaje natural se refiere. El enfoque simbólico muchas veces no se considera dentro de la inteligencia artificial.

3.3. Inteligencia artificial «débil» y «fuerte»

El problema acerca de la inteligencia artificial y su autoconciencia ha alcanzado niveles filosóficos bastante interesantes.

Imaginemos un escenario –de ciencia ficción– en donde hemos logrado que una máquina tenga las mismas características que un rostro humano.

En los últimos años ya existen –en Japón, principalmente– «repcionistas» o «personal de atención al cliente» que son una especie de maniquí o una animación que puede establecer un diálogo con el cliente de manera que ayuda a resolver problemas simples como reservar una habitación de hotel o resolver alguna duda acerca del funcionamiento de un aparato.

Pensemos en algo más complejo.

Imaginemos una máquina que imita perfectamente la piel y las expresiones humanas de manera que sea muy difícil distinguir un rostro artificial de uno natu-

⁵«The idea behind connectionism is to study mind and cognition at a level that is much closer to the neural substrate than classical AI allowed. Built into the connectionist approach are, therefore, a number of assumptions that can be summarized as follows. 1. Architecture-over-function: The proper level for understanding (and formalizing) cognitive behavior lies below the symbolic level, and the proper methodology for formalizing it is the construction of neural-like architectures. In short, architecture is primary and function is secondary (Rumelhart 1997). 2. Decoupling: With sufficient training, a neural network becomes so attuned to the regularities of the outside world as to be able to operate autonomously and represent those regularities faithfully (Rumelhart 1997). 3. Learning: Neural networks are designed to be able to learn (Churchland 1997; Hinton and Sejnowski 1986). 4. Prewiring: Learning results from the modification of interneuronal connection strengths with experience, and is supported by innate learning rules and architectural features (Smolensky 1999). 5. Adequacy: For any cognitive task, there is, in principle, at least one connectionist network with a suitable architecture and learning rules that can be trained to carry out that task satisfactorily (Churchland 1997). 6. Neural reductionism: Cognitive science is an empirical inquiry into the neural substrate of cognition (Churchland 1997).» *La traducción es mía.*

ral. Supongamos que ésta máquina puede hablar perfectamente en español de tal manera que se puede entablar una entretenida conversación con ella, casi como si fuera una persona real.

Hemos hablado con la máquina durante un tiempo y ella nos ha dado opiniones sobre su novela favorita, lo mucho que le gustan los días de lluvia. Nos ha preguntado sobre nosotros y ha intentado que profundicemos más en los detalles. Incluso ha recordado algunos datos con tal de que la conversación corra de manera natural.

Deberíamos preguntarnos qué sucede al interior de una máquina de este tipo. Evidentemente hemos caído en una especie de «juego de la imitación».

En algún momento de la conversación, incluso puede que hayamos olvidado que hablábamos con una máquina. La cuestión es que esa ilusión ha sido fruto de una excelente programación combinada con lingüística y conocimiento del lenguaje corporal humano. La máquina, evidentemente, no comprende nada de lo que ha sucedido. Ella, como toda máquina, siguió un programa que, al compilarse o interpretarse, se redujo a una serie de bits o una serie de «ceros y unos».

Sin embargo, como un «agente», la máquina ha podido hablar perfectamente y llevarnos al engaño. La cuestión es, *¿podemos decir que esa máquina es «inteligente» a pensar de que no comprenda lo que sucede?, ¿se requiere comprensión para que haya inteligencia?*

Eso ha sido uno de los motivos que han dividido los puntos de vista acerca de la inteligencia artificial. Incluso, podemos hablar de una «IA fuerte» y una «IA débil».

La posibilidad de la simulación de la mente humana es causa de gran polémica entre los científicos y filósofos. ¿Es la conciencia, en cuanto a conocimiento propio o darse cuenta de la propia existencia (es en este sentido que nos referiremos siempre a la conciencia), un fenómeno automático, computacional, simulable por ordenador? Penrose considera a los que tratan de responder esta pregunta en cuatro grupos bien diferenciados:

1) Fuerte AI (AI se refiere a *Artificial Intelligence*, Inteligencia artificial).- Toda forma de pensamiento es de tipo computacional, incluidos los sentimientos y la conciencia, y, por lo tanto, se pueden obtener por simple computación.

2) Débil AI.- La conciencia es una cualidad física del cerebro. Y mientras toda propiedad física se puede simular computacionalmente, no es posible llegar al fenómeno de la conciencia en su sentido más genuino, no como simulación de la inteligencia de otro, sino como la de un nuevo «ser u objeto inteligente» de la categoría de lo simulado. Los

que pertenecen a este grupo dicen que la simulación por ordenador de un huracán no es en sí mismo un huracán. O que la simulación de la digestión del estómago no digiere nada. Se trata de un proceso no causal. (Malpica Velasco, 1998, p. 232)

Malpica Velasco añade otros dos puntos de vista, que para el objetivo que persigo, son irrelevantes. Uno habla acerca de la necesidad de crear una «física de la mente» que explique sus fenómenos por medio del método científico y que sus simulaciones se den por medio de axiomas o de leyes fundamentales. El último punto de vista es místico ya que considera que la mente, la inteligencia y la comprensión están fuera del campo de las ciencias.

La propuesta de la división entre IA fuerte y IA débil se la debemos a John Searle. En su artículo «Mentes, cerebros y programas» (1980) propone esta división ya que, en el campo de la IA, el tema «candente» siempre es en cuanto a la relación entre la mente «biológica» y la mente «artificial».

¿Qué importancia psicológica y filosófica debemos dar a los esfuerzos recientes que se han realizado para que las computadoras simulen las habilidades cognoscitivas del ser humano? Para responder a esa pregunta, me parece útil diferenciar entre lo que llamaré IA (inteligencia artificial) «fuerte», IA «débil» o «cautelosa». Según la IA débil, el principal valor que tiene la computadora en el estudio de la mente es que nos proporciona una herramienta muy poderosa que nos permite, por ejemplo, formular y comprobar hipótesis de modo más riguroso y preciso. Empero, en la IA «fuerte», la computadora no es tan sólo una herramienta para estudiar la mente; más bien la computadora programada adecuadamente *es* realmente una mente en el sentido de que puede decirse literalmente que las computadoras que cuentan con programas correctos *comprenden* o poseen otros estados cognoscitivos. (Searle, 1994, p. 82)

Es decir, el campo de la inteligencia artificial no intenta crear «el robot humano». Tampoco es el campo donde se crea «la computadora que reemplazará a los humanos». Buena parte de la investigación en inteligencia artificial está planteada *en utilizar la computadora como modelo para intentar delimitar cómo es que la mente humana funciona*.

La IA se dedica a hacer modelos de la forma que funciona el cerebro y nuestra mente. Esto no es con el fin de construir un «cerebro humano artificial» sino con el fin de comprobar algunas hipótesis acerca de nuestro propio funcionamiento.

Otra parte de la investigación en IA tendría como objetivo la creación de «sistemas inteligentes» entendidos por su capacidad de adaptación y la posibilidad

de que tomen una u otra opción de una variante dependiendo del contexto –y no por la comparación con la «inteligencia humana»–. Un *sistema inteligente* se consideraría como tal por medio de su competencia con el entorno y no tanto su cercanía a la imitación humana o a la facultad de demostrar autoconciencia, sentimientos o razón.

Tal vez el mejor ejemplo que tengamos de esto son los videojuegos.

Pensemos en un videojuego que se puede considerar como «simple» aunque su mecanismo interno sea extremadamente complejo: los videojuegos de ajedrez. Cualquiera que se haya enfrentado a un videojuego de ajedrez comprobará que no es fácil vencer a la máquina. Incluso, uno puede sentirse realmente estúpido al «jugar contra la computadora», más si ésta está conectada a una base de datos y pueden seleccionarse niveles de dificultad.

Recordemos el gran éxito que tuvo la computadora de IBM «*Deep blue*» que derrotó al campeón mundial de ajedrez Gary Kasparov en 1997.

¿Es inteligente una máquina que puede ganarle al campeón mundial de ajedrez o no lo es dado que no puede expresar «cómo se siente hoy»?

La inteligencia artificial, entonces, propondría ciertos programas o máquinas que emulan aspectos de la naturaleza humana con el fin de que –sean exitosos o no– arrojen luz sobre nuestra propia naturaleza.

La forma en la que un observador toma estas «simulaciones» es totalmente subjetiva. Un observador que tome la postura «fuerte» determinaría que estas simulaciones tienen el fin de crear una «mente artificial». Un observador en la postura débil diría que las simulaciones tienen el fin de «emular lo que ocurre dentro de la mente».

Los argumentos a favor o en contra de la IA dependen, en gran medida, de la postura que tomemos: «fuerte» o «débil».

Lo que intento, en este estudio, es emular únicamente una pequeña parte del funcionamiento de la sintaxis dentro de la mente humana.

Como se puede notar, el trabajo que estoy fundamentando está inscrito dentro de la IA débil: *usar la computadora para intentar entender la mente humana*. La cuestión es si es posible crear un modelo de funcionamiento de sintaxis dentro de una computadora el cual sea similar al que tenemos en la mente. Dicho modelo debe coherente con la biología –es decir, con las capacidades reales del cerebro humano– y debe poder unirse a otras simulaciones de otros mecanismos mentales –como módulos artificiales de la semántica o de fonología–.

3.3.1. Algoritmos mentales y el problema de la «conciencia»

Penrose explica que uno de los principales objetivos del campo de la inteligencia artificial es la creación de sistemas inteligentes y no la emulación de la

conciencia humana –como está planteado el test de Turing–. Él explica que pedir que una computadora *sea* humana o imite a la perfección a un ser humano es «pedirle más de la cuenta». El objetivo es más la idea de que, al aplicar un test de Turing, el entrevistador identifique que «hay una presencia consciente, aunque posiblemente extraña, que subyace a estas réplicas».

Otra área en la que la IA podría tener importancia directa es en la *psicología*: se confía en que tratando de imitar el comportamiento de un cerebro humano (o de algún otro animal) mediante un dispositivo electrónico –o fracasando en el intento– podríamos aprender cosas importantes sobre el funcionamiento cerebral. Finalmente, existe entre los optimistas la esperanza de que la IA tuviera algo que decir sobre cuestiones profundas de la filosofía y que nos proporcionara algunos elementos nuevos del concepto «*mente*». (Penrose, 2002, p. 33)

La idea es, pues, emular ciertos módulos de la mente de manera que encontremos nuevas formas de conceptualizarlos. ¿La memoria humana funciona de la misma manera que la memoria de una computadora? Definitivamente no.

¿Cómo podríamos hacer una simulación modesta de la memoria humana? Tendríamos que entender como se divide –corto o largo plazo–, qué cosas realmente recordamos y cómo las evocamos, cómo entran por los sentidos, qué procesos bioquímicos ocurren en la corteza cerebral, qué es el significado, qué son los sueños, cómo logramos discriminar que cosas recordar y qué no.

Y, si tuviéramos un modelo modesto de una memoria similar a la humana que fuera operativa, ¿qué nos diría acerca del *alzheimer*?, ¿del comportamiento?, ¿de los *deja vu* o los equívocos?, ¿de la semiótica o del aprendizaje?

La propuesta filosófica de la IA es la idea de que cualquier actividad o mecanismo mental es, en realidad, un algoritmo.

La idea es que la actividad mental consiste simplemente en una secuencia bien definida de operaciones, frecuentemente llamada *algoritmo*. Más adelante precisaré lo que realmente es un algoritmo. Por el momento, será suficiente definir un algoritmo como cierto tipo de procedimiento de cálculo. En el caso del termostato el algoritmo es extremadamente simple: el dispositivo registra si la temperatura es mayor o menor que la establecida, y a continuación dispone que el circuito se conecte o se desconecte, según el caso.

Para cualquier tipo importante de actividad mental en el cerebro humano el algoritmo tendría que ser muchísimo más complicado pero, según el punto de vista de la IA fuerte, un algoritmo complejo diferirá

enormemente sólo en el grado del sencillo algoritmo del termostato, pero no habrá diferencia de principio.[...]

Y lo que es más importante, todas las cualidades mentales –pensamiento, sentimiento, inteligencia, comprensión, conciencia– deben ser consideradas, según este punto de vista, simplemente como aspectos de este funcionamiento complicado; es decir, son simplemente características del *algoritmo* que ejecuta el cerebro.

[...]

Un algoritmo que pretenda igualar el que se presume está operando en el cerebro humano tendría que ser algo prodigioso. Pero si existiera un algoritmo de esta especie para el cerebro –y los defensores de la IA fuerte afirmarían ciertamente que sí existe– entonces podría en principio funcionar en una computadora. (Penrose, 2002, p. 33-34)

Hay ciertos aspectos de la mente humana con los que discrepo totalmente con la IA fuerte. Personalmente, de forma intuitiva, considero que cuestiones como la imaginación, la percepción, el razonamiento lateral y otros no pueden reducirse simplemente a un algoritmo por más complejo que este pueda ser.

Incluso con una postura «débil», no creo que esos procesos cognitivos puedan ser simulados siquiera en una máquina.

Sin embargo, hay mecanismos mentales que operan de manera inconsciente, casi «automáticamente» que parecen regirse por principios básicos y sencillos que suceden en milisegundos en las neuronas.

Siguiendo la línea de esta investigación, podríamos preguntarnos entonces: *¿es la sintaxis un algoritmo que ejecuta el cerebro? La postura de la IA diría que sí.*

No sólo eso, cualquier algoritmo que regulara la sintaxis en la mente, podría emularse, en forma más simple, en una máquina de Turing y, por lo tanto, en el interior de una computadora.

Dicho esto, mencionaré tres grandes problemas filosóficos que se han contemplado en el campo de la IA. Su mención tiene razón de ser; son tres grandes preguntas o acertijos que siempre aparecen en las discusiones de este campo y que tienen relación directa con el lenguaje y con el problema cerebro-mente. Son discusiones filosóficas pertinentes ya que amplían y acotan nuestro entendimiento sobre el concepto de «inteligencia» y el concepto de «mente» como lo entendemos actualmente.

La razón de esta incorporación es, en sí, que afectan directamente la concepción del lenguaje dentro de la IA. Veamos un poco de ellos.

3.3.1.1. El juego de la imitación

Alan Turing fue el primero que postuló que una máquina podía realizar ciertas funciones de la mente humana. En su artículo «Computing machinery and intelligence»⁶, Turing (1950) ya se preguntaba:

Propongo considerar la siguiente pregunta: «¿Pueden las máquinas pensar?». Esto nos debería llevar a definir el significado de los términos «máquina» y «pensar». Las definiciones deberían ser formuladas de manera tal que reflejen, en la medida de lo posible, el uso normal de estas palabras; sin embargo, ésta actitud es peligrosa. Si el significado de las palabras «máquina» y «pensar» lo tomamos al examinar la forma en que se utilizan comúnmente, es difícil escapar a la conclusión de que el significado y la respuesta a la pregunta: "¿Pueden pensar las máquinas?" hay que buscarla en una encuesta estadística como una encuesta de Gallup. Pero esto es absurdo. En lugar de intentar tal definición, yo sustituiré esta pregunta con otra, la cual estará estrechamente relacionada con la anterior y está expresada relativamente en palabras inequívocas.

Con estas afirmaciones, Turing iniciaría un *experimento mental* bien conocido como «El juego de la imitación». Revisar este experimento es relevante en este estudio ya que está basado en tres cuestiones que tendremos que reflexionar: la relación lenguaje-pensamiento, la relación mente-cerebro y la definición de «inteligencia» únicamente por su apariencia («parece inteligente»)⁷.

La nueva forma del problema puede ser descrito en términos de un juego que llamaré *el juego de la imitación*. Se juega con tres personas: un hombre (A), una mujer (B), y una interrogador (C) que puede ser de cualquier sexo. El interrogador se queda en una habitación aparte de los otros dos. El objetivo del juego para el interrogador es determinar cuál es el hombre y cuál es la mujer. Él sólo los puede identificar por las etiquetas X y Y. Al final del juego, él dirá «X es A e Y es B» o bien «X es B e Y es A.» El interrogador se le permite hacer preguntas a A y B [...]

Con el fin de que los tonos de voz no ayuden al interrogador, las respuestas deberán ser escritas, o mejor aún, mecanografiadas. La dis-

⁶Conocido como «El juego de la imitación» por el título de la primera sección y por la popularidad que alcanzó con una película en la que se hablaba de los años de Alan Turing en Bletchley park donde ayudó a descifrar el código de la máquina Enigma naval.

⁷Ambas cuestiones serían ampliamente discutidas por John Searle en el experimento mental de «La habitación china» del cual hablaré más adelante.

posición ideal es tener un *teleprinter* comunicando a las dos habitaciones. [...]

Ahora haré la pregunta: «¿Qué sucedería si una máquina toma la parte de A en este juego?». ¿El interrogador decidirá erróneamente, como a menudo sucede cuando el juego se realiza entre un hombre y una mujer? Estas preguntas reemplazan nuestra original, «¿Pueden pensar las máquinas?». (Turing, 1950)⁸

El llamado «test de Turing» o «el juego de la imitación» en realidad, ya se encuentra desestimado como una prueba válida determinar el nivel o la existencia de inteligencia artificial.

Turing merece ser reconocido por diseñar una prueba que se conserva vigente después de 50 años. Los investigadores del campo de la IA han dedicado poco esfuerzo a la evaluación de sus sistemas con la prueba de Turing, por creer que es más importante el estudio de los principios en los que se basa la inteligencia que duplicar un ejemplar. La búsqueda de un ingenio que «volara artificialmente» tuvo éxito cuando los hermanos Wright, entre otros, dejaron de imitar a los pájaros y comprendieron los principios de la aerodinámica. Los textos de ingeniería aerodinámica no definen el objetivo de su campo como la construcción de «máquinas que vuelen como palomas de forma que puedan incluso confundir a otras palomas». (S. J. Russell y Norvig, 2004, p. 3)

Sin embargo, podemos notar –además del ingenioso planteamiento– que nosotros, como humanos, requerimos que las cosas «hablen» para que las consideremos realmente inteligentes.

Un automóvil puede conducirse de manera autónoma e «inteligente» todo lo que guste, pero, hasta que no hable, el humano normal no lo considerará *realmente inteligente*.

⁸«The new form of the problem can be described in terms of a game which we call the 'imitation game.' It is played with three people, a man (A), a woman (B), and an interrogator (C) who may be of either sex. The interrogator stays in a room apart from the other two. The object of the game for the interrogator is to determine which of the other two is the man and which is the woman. He knows them by labels X and Y, and at the end of the game he says either "X is A and Y is B" or "X is B and Y is A." The interrogator is allowed to put questions to A and B [...]

In order that tones of voice may not help the interrogator the answers should be written, or better still, typewritten. The ideal arrangement is to have a teleprinter communicating between the two rooms. [...]

We now ask the question, "What will happen when a machine takes the part of A in this game?" Will the interrogator decide wrongly as often when the game is played like this as he does when the game is played between a man and a woman? These questions replace our original, "Can machines think?" »*La traducción es mía.*

Es decir, nuestra concepción de inteligencia está realmente basada en el uso de lenguaje. Como bien sabemos, el lenguaje está íntimamente relacionado con el pensamiento. Sin embargo, ¿es posible que una máquina hable, de manera autónoma, sin que tenga frases precargadas, sin que use la probabilidad para elegir sus respuestas o sin que tenga que recurrir a una base de datos de oraciones pre-armadas?

¿Una máquina puede, realmente, construir oraciones de la nada como lo hace la mente humana?

3.3.1.2. «La habitación china» de Searle.

El problema de la habitación china fue planteado en un artículo de investigación llamado «Minds, brains and programs» en 1980 por el filósofo John Searle. Él, discípulo de Austin, es bastante conocido en pragmática por haber ampliado la «teoría de los actos de habla», especialmente en la cuestión de los «actos de habla indirectos».

Searle, en este artículo, plantea una réplica a un artículo anterior de Schank y Abelson (1977) –aunque también es una réplica al «juego de la imitación» de Turing– en el cual se plantea un programa de computadora que puede entender historias simples.

El propósito del programa es simular la comprensión de historias sencillas como: «Un hombre entró a un restaurante y pidió una hamburguesa. Cuando se la trajeron, estaba quemada y el hombre salió vociferando furiosamente del restaurante sin pagar la cuenta ni dejar propina». Un segundo ejemplo: «Un hombre entró a un restaurante y pidió una hamburguesa; cuando se la trajeron, le gustó mucho, y al salir del restaurante dio una buena propina al camarero antes de pagar su cuenta». (Penrose, 2002, p. 34)

La prueba de comprensión del programa planteado por Schank y Abelson funcionaría de manera que, al presentarle estas dos historias a la computadora, ella podría responder a la pregunta «¿en cuál de las historias el hombre se comió la hamburguesa?»

Para nosotros, como humanos, nos es evidente que hay más probabilidad de que el hombre se haya comido la hamburguesa en la segunda historia que en la primera. Si una computadora lograra identificar en qué historia el hombre sí come la hamburguesa, la computadora habría pasado el test de Turing.

El problema para Searle es exactamente la cuestión de la comprensión. La computadora está resolviendo decir que sí o *no*, siguiendo el algoritmo con el que se

le ha programado. Sin embargo, esto no asegura que la computadora «comprende» lo que está sucediendo.

Los partidarios de la IA fuerte afirman que en esta secuencia de preguntas y respuestas, la máquina no sólo simula una habilidad humana, sino que también:

1) puede decirse literalmente que la máquina *comprende* el relato y proporciona respuestas a las preguntas, y

2) lo que la máquina y su programa hacen es explicar la capacidad humana de comprender el relato y responder a las preguntas acerca de él. (Searle, 1994, p. 83)

Para explicar este problema, Searle crea su famoso experimento mental llamado «La habitación china» el cual tiene mayor trascendencia que la crítica hacia las investigaciones de Schank y Abelson. «La habitación china» se ha utilizado como argumento y contraargumento en varios modelos teóricos posteriores a Searle los cuales critican desde la idea de «juego lingüístico» de Wittgenstein hasta la «gramática generativa» de Chomsky pasando por la teoría del papel de los electrones en los mecanismos cognitivos de Schrödinger y el cognocitismo cuántico de Penrose.

El problema de «la habitación china» consiste en lo siguiente.

Supongamos que estoy encerrado en una habitación y que se me proporciona un fajo grande de textos escritos en chino. Supongamos además (como es de hecho el caso) que no sé chino, ni escrito ni hablado, y que ni siquiera tengo la certeza de poder reconocer la escritura china como tal, distinguiéndola, por ejemplo, de la escritura japonesa o de una serie de garabatos sin significado alguno. Para mí, la escritura china sólo es una serie de garabatos sin sentido. Ahora bien, supongamos que después de recibir este fajo de textos en chino, se me proporciona otro que contiene una serie de reglas para relacionar el segundo fajo con el primero. Las reglas están en inglés y las entiendo tan bien como cualquier otro hablante de esta lengua. Me permiten establecer una correlación entre un conjunto de símbolos formales y otro conjunto de símbolos formales. Con «formal» sólo quiero decir aquí que puedo identificar los símbolos completamente por sus formas. Supongamos también ahora que recibo un tercer fajo de símbolos chinos junto con algunas instrucciones, otra vez en inglés, que me permiten correlacionar elementos de este tercer fajo con los dos primeros, y que estas reglas me instruyen acerca de cómo responder con ciertos símbolos chinos de cierta forma a ciertos tipos de forma

que me fueron proporcionadas en el tercer fajo. Sin yo saberlo, las personas que me dieron todos estos símbolos llaman «manuscrito» al primer fajo, «relato» al segundo y «preguntas» al tercero. Además, llaman «respuestas a las preguntas» a los símbolos que doy en respuesta al tercer fajo, y al conjunto de reglas en inglés que me proporcionaron lo llaman «el programa». (Searle, 1994, p. 84)

Lo que Searle plantea aquí es una situación hipotética en donde el filósofo –es decir, un «John Searle hipotético»– funciona como una unidad de procesamiento al cual se le ha introducido un «input» –los «relatos» y las «preguntas» – además de un algoritmo para procesar esos datos.

El punto es que él puede realizar un «output» –las «respuestas»– a pesar de que él no entienda lo que está sucediendo en lo absoluto.

Como podemos observar, el problema de la «habitación china» no es únicamente un problema de IA; es un problema sobre el procesamiento del lenguaje, tanto en forma mecánica como en forma biológica.

Searle continúa:

Ahora bien, sólo para complicar la historia un poco, imaginemos que estas personas también me proporcionan relatos en inglés, que yo comprendo, y que luego me hacen preguntas en inglés sobre esos relatos y yo les respondo también en inglés. Supongamos también que después de un rato logro seguir tan bien las instrucciones para descifrar los símbolos chinos y los programadores logran escribir tan bien los programas desde un punto de vista externo –esto es, desde la perspectiva de alguien que se encuentra fuera de la habitación donde estoy encerrado– que mis respuestas a las preguntas pueden distinguirse en absoluto de las que proporcionaría un hablante del chino. Nadie que sólo observara mis respuestas podría afirmar que no hablo ni una palabra de chino. Supongamos también que mis respuestas a las preguntas en inglés son (qué duda cabe) indistinguibles de las de otros hablantes del inglés, por la sencilla razón de que yo soy un hablante de esta lengua. Desde el punto de vista externo –el de alguien que lea mis «respuestas»–, las contestaciones a las preguntas en chino y a las preguntas en inglés son igualmente buenas. Empero, en el caso del chino, a diferencia del inglés, formulo mis respuestas mediante el manejo de símbolos formales no interpretados. En lo que respecta al chino, me comporto simplemente como una computadora; realizo operaciones de cómputo con base en elementos especificados formalmente. En cuanto al chino, no soy más que un ejemplo concreto del programa de una computadora. (Searle, 1994, p. 84-85)

El problema de Searle, evidentemente va en el sentido de que el programa ideado por Schank y Abelson –y como dice él «cualquier simulación en máquina de Turing de fenómenos mentales humanos» (Searle, 1994) –no comprende absolutamente nada sino que sólo sigue un algoritmo bien realizado.

Este problema es claramente una crítica a «el juego de la imitación» y cualquier programa que siga su fundamento. La idea que subyace es que una máquina que nos «engañe» para suponer que está «pensando» no necesariamente lo hace. Es decir, basarnos únicamente en la interpretación que nosotros, como observadores, damos al «output», no es suficiente para determinar si algo piensa.

¿Por qué este problema es relevante en el modelo que propondré?

La cuestión lingüística que abre «el problema de la habitación china» es una cuestión acerca de la validez del conductismo. Si nos basamos únicamente en el estímulo verbal que se le da a un individuo –input– y de allí estudiamos su comportamiento –output– asumimos que, a la manera de Bloomfield, el lenguaje es un juego de *estimulo-respuesta* de la misma manera que los famosos personajes de Jack y Jill en el capítulo «El habla y los hechos prácticos» del libro «*Language*» de este autor: que lo que cuenta es «la conducta» y no los procesos que se siguen para llegar a ella.

La pregunta epistemológica amplia sería si es suficiente el estudio del resultado de un proceso o si debemos centrarnos el estudio de los mecanismos del proceso *per se*.

Recordemos que Searle fue alumno de Austin, quien desarrollo –en su segundo giro argumental– la «teoría de los actos de habla *locutivos, ilocutivos y perlocutivos*». John Searle, por su cuenta, amplió esta teoría hacia la teoría de actos «*directos e indirectos*». Para este filósofo, si alguien pregunta «¿podría pasarme la sal, por favor?» y recibe el salero a cambio, no significa que ha sido un intercambio estímulo-respuesta ya que literalmente la enunciación no pide el salero, pero pragmáticamente sí lo hace. Es decir, hay una serie de instrucciones de procesamiento, dependientes de contexto, que operan en la mente del hablante.

Imaginemos por un momento que John Searle «hipotético» se acerca a una máquina la cual tiene varios objetos frente a ella en una mesa. Searle «hipotético» le dice «¿puede usted pasarme la sal?, por favor». Después de unos segundos, el brazo mecánico se posiciona sobre el salero y se lo entrega al filósofo. ¿Cómo podemos interpretar esto?, ¿la máquina ha realizado un proceso completo gramatical, además de entender el contexto, y ha participado en el «juego lingüístico»? ¿o sólo se debe a un programa que ha identificado dos palabras, «pasarme» y «sal», eliminando el resto?

La respuesta de Searle, sería la segunda.

En los modelos actuales de procesamiento natural del lenguaje importa más que arrojen resultados efectivos –búsquedas por n-gramas que se logran en menor

cantidad de tiempo– que por explicar el funcionamiento de la mente humana. La razón de ello es que tienen propósitos más prácticos –para crear nuevas apps o sistemas «inteligentes»– que de investigación teórica.

Cuando presente mi modelo de sintaxis en Python, veremos que arroja oraciones del tipo:

(3.1) El sándwich bien argentino vio tres conejos muy rápidos.

El programa imita el comportamiento gramatical sin acceso a lo fonológico, lo semántico y lo pragmático. Es decir, los resultados –o «su conducta»– no es apropiada, pero intenta imitar el funcionamiento mental. Sin embargo, este cálculo no es completo ya que requiere, forzosa y necesariamente, el estudio del uso de la lengua.

Cualquier teoría lingüística actual estaría incompleta, y sería sospechosa, si el uso de la lengua no es su campo central. La investigación del sistema de la lengua –mental– compete a las ciencias cognitivas, pero no debería ser el centro de la investigación lingüística, sino un apéndice útil.

Mi opinión actual es que los modelos de lingüística computacional pueden ayudarnos a entender mejor el sistema interno de los hablantes, la lengua. Sin embargo, no creo posible que la lingüística computacional pueda en algún momento simular el uso, el habla. Creo que «la máquina que habla» es ciencia ficción y nada más. Como siempre, la historia será la que dicte si esto se cumple o no.

3.3.1.3. Conversación con el cerebro artificial de Einstein

El problema del dualismo está extendido no sólo al campo de la IA sino también al campo del generativismo. La idea fue planteada por Descartes –y, de cierta manera, lo hacía siguiendo un modelo planteado por Platón– en el que se afirma que hay dos sustancias distintas: una sustancia mental y otra física (Penrose, 2002, p. 37). Esta división dual es un problema ya que implica que la sustancia mental no requiera su soporte físico para su ejecución.

Es decir, el problema del dualismo en sí se plantearía si la relación entre cerebro y mente es separable o no. Si se plantea que hay ciertos mecanismos mentales algorítmicos, la pregunta sería cuánta validez tienen estos al ser «ejecutados» en un objeto *que no es un cerebro* y qué tanto se mantiene la fidelidad de dichos mecanismos al intentar teorizarlos.

Roger Penrose plantea este problema y lo ejemplifica con un experimento mental llamado «Conversación con el cerebro artificial de Einstein». El problema del dualismo es una crítica dura a la IA fuerte y a la propia idea de que pueda haber algoritmos mentales.

Existen, me parece, otras dificultades muy serias en el punto de vista de la IA fuerte. Según sus teóricos, lo que cuenta es simplemente el algoritmo. No hay ninguna diferencia si el algoritmo es ejecutado por un cerebro, una computadora electrónica, una nación entera de hindúes, un dispositivo mecánico de ruedas y engranajes o un sistema de tuberías. La idea reside en que es simplemente la estructura lógica del algoritmo lo significativo del «estado mental» que se supone representa, siendo completamente irrelevante la encarnación física de dicho algoritmo. (Penrose, 2002, p. 37)

Esta es una cuestión extremadamente relevante para este estudio. Es decir, *¿un algoritmo de la sintaxis humana requiere, necesariamente, un cerebro humano para su funcionamiento?*

La respuesta que yo tendría que dar es que sí, lo requiere. Lo que se tendría que resolver es la validez de un algoritmo mental en cuanto a su naturaleza como «modelo abstracto» y su representación en una computadora dada la relación dual mente-cerebro.

Lo que intento resolver es la idea de un algoritmo que sea coherente dada la naturaleza del cerebro. Muchas de las propuestas para el procesamiento del lenguaje natural son completamente irracionales en términos biológicos y neurológicos. Cuestiones como la necesidad de hacer sistemas sintácticos que estén basados en reglas de reescritura y transformaciones de oraciones preestablecidas serían altamente costosas en cuanto al razonamiento y la memoria humana. En cuanto a este enfoque neurológico que busca una sintaxis «mínima» hablaré en los próximos dos capítulos.

Penrose (2002, p. 37) continúa diciendo:

Como apunta Searle, esto entraña de hecho una forma de «dualismo». El dualismo es un punto de vista filosófico adoptado por el muy influyente filósofo y matemático del siglo XVII René Descartes, y afirma que hay dos tipos de sustancias distintas: «sustancia mental» y materia ordinaria. El que uno de estos tipos de sustancia pueda o no afectar al otro, o de qué modo pueda hacerlo, es una cuestión adicional. El punto importante es que se supone que la sustancia mental no está compuesta de materia y puede existir independientemente de ella. La sustancia mental de la IA fuerte es la estructura lógica de un algoritmo. Como acabo de señalar, la encarnación física concreta de un algoritmo es algo totalmente irrelevante. El algoritmo tiene un tipo de existencia incorpórea que es ajena a cualquier realización de dicho algoritmo en términos físicos.

La cuestión de forma más clara se plantea, como es común en este tipo de problemas, en forma de una historia o parábola.

Hofstadter (2007) en «Gödel, Escher, Bach» plantea un escenario de ciencia ficción donde la conciencia y la mente de Albert Einstein ha sido vaciada por completo en una supercomputadora. La personalidad, idelecto, sentimientos, inteligencia y más «componentes» del ser de Einstein están, de alguna manera, guardados en bits de información de manera perfecta. La forma de acceder a la mente de Einstein para conversar con él –o con lo que queda de él– es con una especie de un «libro electrónico» con el cual se pueden hacer preguntas que serían respondidas tal y como Einstein mismo respondería.

Una de las preguntas de este experimento que realmente nos interesa es qué pasaría si este libro electrónico no es consultado nunca. ¿Podemos determinar que Einstein está allí a pesar de que nadie converse con él?, ¿qué pasa si no accedemos al libro sino al sistema operativo de la computadora?, ¿Einstein seguiría allí?

Estas cuestiones son interesantes ya que nos plantean qué tanto la sintaxis puede ser estudiada independientemente del habla en uso, el cerebro humano e, incluso, del lenguaje mismo.

Hay algunas pruebas empíricas que demuestran que la sintaxis, como algoritmo mental, existe independientemente de la lengua. Los casos de afasia o de «niños salvajes», comunidades de sordomudos que desarrollan una lengua *a priori*, los pidgin y los criollos, etc. Es decir, parece haber cierta propensión biológica a la creación de oraciones bien formadas en nuestra lengua con el fin de tener una comunicación eficiente con nuestros pares. *¿Es válido estudiar el mecanismo de la sintaxis fuera de la mente?*

¿Qué significa ejecutar un algoritmo, o encarnarlo en forma física?
¿Habría alguna diferencia entre cambiar un algoritmo y simplemente descartarlo o reemplazarlo por otro? ¿Qué demonios tiene todo esto que ver con nuestras sensaciones de conciencia? [...]

Searle en su exposición, parece aceptar implícitamente que las computadoras electrónicas del tipo de las actuales, pero con una velocidad de acción y una memoria de acceso rápido considerablemente aumentadas (y posiblemente con acción paralela), podrían ser perfectamente capaces de pasar limpiamente la prueba de Turing en un futuro no muy lejano. Está dispuesto a aceptar la idea de la IA fuerte (y de muchos otros puntos de vista científicos) de que «somos una materialización de ciertos programas de cómputo». Además, cede y afirma: «por supuesto que el cerebro es una computadora digital. Puesto que cualquier cosa es una computadora digital, los cerebros también lo son». Searle sostiene que la diferencia entre la función del cerebro

humano (que puede alojar a la mente) y la de las computadoras electrónicas (que, según él, no pueden hacerlo), pudiendo ambas ejecutar un mismo algoritmo, radica solamente en la construcción material de cada uno. (Penrose, 2002, p. 39)

3.4. Lenguaje e IA, una reflexión

Nuestra percepción de «lo inteligente» está intrínsecamente ligada a la noción de «seres que hablan». Es decir, el lenguaje cumple un papel fundamental en conceptos como «mente», «inteligencia», «pensamiento». Esto no es gratuito ya que el lenguaje es, en buena medida, el pensamiento mismo.

El lenguaje también se ofrece como el único fenómeno que realmente se emite desde nuestra mente, lo cual se podría argumentar como un indicio de su existencia. Además, nuestra capacidad de hablar es el único punto de enlace de nuestra mente con el mundo exterior –o por lo menos el más directo, ya que también el arte y los sistemas semióticos provendrían directamente desde la mente–.

La idea de crear un capítulo dedicado a la inteligencia artificial tiene sentido en cuanto al objetivo de este texto. Es importante entender que esta tesis no busca crear una «máquina que converse» sino de dar cuenta –casi de manera apologética– del mecanismo mental de la sintaxis. Sin embargo, el enfoque, al ser neomecanicista, es reproducir este mecanismo mental desde la artificialidad –es decir, desde la computadora–.

La propuesta se puede ver como «*un viaje al interior de la mente humana*» por medio de lo artificial y no «*la artificialidad del lenguaje*». Esto es con el fin de entendernos a nosotros mismos como especie.

Esta tesis está centrada en enfoques olvidados y marginales al interior de la IA. Por una parte, está centrado en el enfoque de la «inteligencia artificial simbólica» –la cual abreva directamente de la IA teórica– que consiste en desentrañar ciertos mecanismos mentales, no por medio de la psicología, sino al intentar su simulación «fuera de la mente». Esto, a mi parecer, crea cierta incomodidad ya que desprende preguntas filosóficas sobre la naturaleza de la mente muy difíciles de contestar y, además, presupone que existen mecanismos inconscientes, automáticos y precisos a nuestro interior lo cual puede ser malinterpretado como que se cree que todo el cuerpo y la mente es una especie de «máquina biológica».

El enfoque mecanicista del cuerpo –rescatado desde el renacimiento– es generalmente criticado debido a que parece «deshumanizar» al ser humano. Mi propuesta es que resulta exactamente lo contrario: el mecanicismo humaniza, debido a que nos iguala. Si aceptamos la idea de que en cada ser humano, solo por su condición humana, debe poseer por nacimiento una serie de mecanismos mentales

que le permiten hablar –sin que importe su historia personal– nos da la idea de que *todos los seres humanos son iguales*, por lo menos en cuanto a esa parte de su mente.

Al nacer, cada ser humano tendría dentro de sí una «maquinaria» –pensada como un «sistema de sistemas», y no como un objeto de engranes y tornillos– que le permite aprehender su lengua materna y emplearla sin necesidad de tener que pensar que la usa.

Dado que «lo humano» –lo cual, a todas luces, es «el mundo en sí»– ha sido elaborado por la facultad que tienen los seres humanos para hablar, tendríamos que llegar a la cuenta de que todo ser humano interviene en la constitución del «fenómeno del mundo» sin exclusiones. Wittgenstein postularía incluso que *«los límites de mi lenguaje son los límites de mi mundo»*.

Es decir, si todo lo humano ha sido creado por el lenguaje y, además, el propio pensamiento humano es lenguaje, al declarar que los seres humanos tienen la facultad del lenguaje –posiblemente por cuestiones biológicas– tendríamos que postular la igualdad de las inteligencias y la igualdad de las condiciones de todos los seres humanos de este mundo. Este planteamiento de la igualdad de las inteligencias no es nuevo, ya había sido planteado por Joseph Jacotot en el *método de enseñanza universal* –el cual fue recogido y revalorizado en nuestros tiempos por el filósofo Jacques Rancière por medio del libro «El maestro ignorante» (Rancière, 2008)–. El planteamiento filosófico que aportan tanto Jacotot como Rancière es –dicho de forma pedestre y abreviada– que «cualquier persona puede aprender cualquier cosa, dado que poseen lenguaje y por lo tanto, pensamiento; nuestras desigualdades están dadas por lo social, de manera artificial».

Retomaré el asunto de la inteligencia artificial. En la biología, están descritos algunos procesos como «mecanismos» –p. ej. «mecanismo de acción», «mecanismo molecular»– los cuales suelen tener un correlato teórico –incluso esquemático– el cual está sujeto a un paradigma teórico de raíz histórica. En cuestiones del cuerpo, como ente físico, no hay problema en proponer modelos de «cosas que sabemos que ocurren a su interior» aunque no puedan tangibilizarse –sin embargo, las pruebas de su existencia son irrefutables–. Cuestiones como el ciclo de Krebs, la comunicación entre neuronas, la vía de transducción de señales, la replicación de ADN y muchos otros que existen en un modelo teórico *separado del cuerpo* y que están sujetos a ser deshechados si el paradigma teórico cambia.

Este es uno de los problemas clásicos de la lingüística y de los estudios de la mente. Para explicar el cuerpo como fenómeno, tenemos a la bioquímica, la física, la estética, etc., es decir, concepciones teóricas, abstractas, externas al cuerpo. Sin embargo, para explicar el lenguaje se tiene que emplear al lenguaje mismo para su explicación: objeto y análisis son lo mismo. De igual manera la mente, es un sistema que se analiza a sí mismo: *la mente explora a la mente*. Estos son el tipo de

bucles infinitos que presentan un problema teórico que fascinaban a Hofstadter (2007) en «Gödel, Escher, Bach: un eterno y grácil bucle».

Aunado a esto, los «mecanismos de la mente» aún tienen cierto matiz de *tabú* dadas las tradiciones en occidente que consideran la mente como un objeto indivisible, etéreo y «santo», equiparable al alma, el cual solo notamos en su estado patológico –aunque habría voces que se opondrían a esto, como Foucault, Oliver Sacks y el mismo Wittgenstein–. Es difícil conceptualizar la mente sólo como un fenómeno y no como su esencia metafísica.

Es por ello que la propuesta de esta tesis está también inscrita en la «inteligencia artificial débil», es decir, la simulación de la mente. Yo no considero la computadora como una mente más –que por evolución, puede dar un ser consciente aparte del humano– sino una representación de la mente, hecha por la mente misma, con planteamientos cognitivos –como el cálculo lambda–. Intentar hacer una simulación de la sintaxis fuera de la mente, bajo cierto paradigma teórico y bajo ciertos presupuestos, puede aportar ideas para continuar este camino de investigación o refutarlo por completo.

He hablado en este capítulo de la mente, pero también de su soporte, el cerebro. También he indicado que los mecanismos de la mente –como la sintaxis– pareciera que se heredan de generación en generación por lo cual son una característica de nuestra especie.

¿Es eso cierto?, ¿se puede heredar el mecanismo de la sintaxis? Hasta este momento, he hablado de la sintaxis como si fuera una característica esencial humana. Sin embargo, parecería que surgió «de la nada» y se instaló en la mente humana.

Como especie, no estamos desligados de otros mamíferos. Tanto así que usamos a otros para hacer investigación médica y psicológica. Somos, naturalmente, animales. Esto quiere decir que podríamos rastrear ciertos mecanismos mentales en otras especies animales para otorgar sustento a esta argumentación.

El siguiente capítulo tratará justo de este tema.

La naturaleza del lenguaje

¿Por qué el universo llegó a tener un estado apto para la existencia de los humanos? Incluso un pequeño cambio en los campos gravitacionales habría producido un universo completamente diferente del que conocemos. Las leyes y fenómenos como la Constante de Planck o la proporción entre el volumen y la masa molecular de los compuestos... parecen haber sido diseñadas específicamente para que los humanos pudiésemos vivir aquí y observar este universo.

¿No te parece algo increíble?

– *Nagaru Tanigawa*. «Suzumiya Haruhi no Yuutsu» (novela).

Al observar a los animales, podemos notar que utilizan ciertos sistemas de comunicación los cuales difieren casi de manera infinita. Aquellos sistemas –o seudosistemas– de comunicación que podemos considerar como «más alejados al nuestro» consisten en señales bioquímicas con órganos especializados en la producción y la percepción de señales.

Entre esos sistemas de comunicación existen otros que podríamos casi caracterizar como semióticos donde hay un significante –ya sea un grito, un gruñido, una danza, un color– asociados a un significado concreto. Algunos de estos códigos de comunicación llegan a ser tan sofisticados que, incluso, llegan a referir a un objeto del mundo que no se encuentra presente. Los animales, en general, pueden llegar a asombrarnos al hacer imitaciones de los sonidos de otros, al mostrar signos de lo que podríamos categorizar como «pensamiento lógico» e, incluso, en la creación

de símbolos de manera artificial –generalmente usados para marcar territorio– como montones de rocas, dibujos en la arena, apilados de hojas, etc.

Entre más nos alejamos de los animales domésticos y nos acercamos a especies cercanas a la nuestra, podemos llegar a encontrar que los primates poseen ciertas habilidades para memorizar un conjunto reducido de ítems léxicos –con significado, significante y referente no presente– y, además, una rudimentaria habilidad para combinarlos entre ellos.

Esto nos podría dar pautas de reflexión que son relevantes y trascendentes en cuanto a cuestiones de orden moral ya que reevalúan la relación «ser humano y naturaleza» y la relación «ser humano y otros seres humanos».

Por un lado, pensar en la naturaleza del lenguaje y el lenguaje animal nos puede llevar a abandonar la idea de que los seres humanos son seres privilegiados los cuales existen «para reinar sobre los animales y la naturaleza». Dicha idea proviene desde las tradiciones judeocristianas occidentales¹ y que tomó fuerza en el positivismo al considerar que «lo natural» debía ser dominado y sometido a la voluntad de los humanos.

El otro sentido que nos puede llevar la idea de estudiar la comunicación animal, es que el lenguaje humano no pudo simplemente «aparecer» en la mente de nuestra especie –no hubo una «generación espontánea» del lenguaje–. Muchas de las teorías del origen del lenguaje, a lo largo del tiempo –y como veremos en este capítulo– sugieren que el lenguaje «fue inventado por una necesidad» o que «surgió debido a la inteligencia humana».

El punto de debate que abriré en esta sección es la cuestión del lenguaje humano «como desarrollo evolutivo». Es decir, el lenguaje nos volvió los más aptos para la supervivencia en nuestro entorno dado que, como especie, podíamos hacer planes o compartir información que preservara la supervivencia de nuestra especie.

El problema que implica esto es concebir el lenguaje humano como una versión de la comunicación animal que, de alguna forma, evolucionó más que en otros animales. Si pudiéramos hacer el símil con las uñas de los animales y las de los humanos, notaríamos que las nuestras no son funcionales al mismo nivel que el de los animales que las usan para cazar y sobrevivir.

Así pasaría con la comunicación humana en sus inicios.

Pero, *¿cómo es que la comunicación animal evolucionó hasta el punto de ser el lenguaje humano?* Pareciera ser que la facultad de lenguaje no depende de la inteligencia –ya que el retraso mental o ciertos problemas cognitivos de inteligencia no impiden que alguien adquiera su lengua materna–. Tendríamos que asumir que,

¹Para muestra, sólo hay que pensar en la relación entre Adán y los animales en el mito del génesis judeocristiano. Véase Génesis 1:28 y 2:19.

de cierta manera, la facultad para adquirir una lengua materna es por medio de un mecanismo hereditario que se transmite de generación en generación en nuestra especie.

Es por ello que tenemos que hablar de «evolución» como concepto.

La teoría de la evolución postulada por Darwin es ampliamente aceptada por la comunidad científica –excepto por aquellos científicos que son creacionistas, aunque parezca contradictorio–. Sin embargo, el propio concepto de evolución y sus mecanismos son objeto de debate.

Si hiciera una introducción para mostrar los conflictos que existen entre biólogos, bioquímicos, físicos, antropólogos en cuanto a conceptos como los procesos evolutivos no asociados a la selección natural, la morfogénesis y otros, sería un texto cuatro veces más grande que este.

Cuando pensamos en «evolución del hombre», lo común es imaginar esa ilustración llamada *evolutionary ladder* la cual que muestra una fila de varios ancestros del ser humano actual, caminando hacia el mismo punto, desde los chimpancés hasta el *homo sapiens sapiens* en una fila ordenada del organismo más imperfecto al más perfecto.

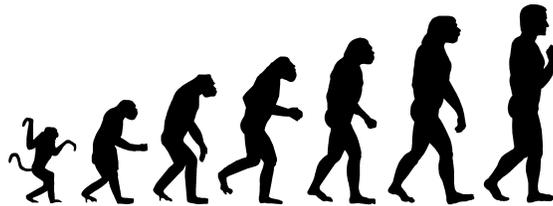


Figura 4.1: «Evolutionary ladder», el *meme* –como lo nombró Richard Dawkins– que encierra una falacia común sobre la evolución.

Este *meme* –el *meme* por excelencia como lo menciona Richard Dawkins en su libro «The Selfish Gene»– es una falacia que se ha repetido durante varias décadas y ha contribuido a que la cultura popular considere que la evolución es *un proceso de mejoramiento* en el cual, el ser humano está en la cima de la perfección.

...la evolución no tiene forma de escalera, sino más bien de arbusto. Los seres humanos no descienden de los chimpancés, sino que unos y otros descienden de un antepasado común ya extinguido. A su vez, este antepasado común al hombre y al chimpancé no descendió directamente de los simios, sino de un antepasado más antiguo, común a ambos, que también se extinguió. Y así continúa la cadena hasta llegar a nuestros más remotos antepasados, los organismos unicelulares. Los

paleontólogos acostumbran a decir que, en términos muy generales, todas las especies se encuentran extinguidas (la estimación habitual se cifra en el noventa y nueve por ciento). Los organismos que vemos hoy en la naturaleza son primos muy lejanos unos de otros, y no tatarabuelos; representan ramitas muy diseminadas de un gigantesco árbol cuyo tronco y ramas desaparecieron hace mucho tiempo. (Pinker, 1999, p. 376)

El humano no proviene del mono; *el humano es un mono*. Los monos y el resto de los animales no son formas degradadas e imperfectas de lo que representa el humano. todo lo contrario, hay especies animales que han llevado un proceso de evolución más largo que el de nuestra especie.

La evolución es un árbol bastante frondoso de especies biológicas en la cual nosotros representamos apenas una «pequeña ramita». Cada una de esas ramas surgió a partir de una mutación, una variación en el código genético que, en cierta medida, cambió su morfología. De esa manera, un oso que nace albino en las regiones de la tundra polar puede cazar, alimentarse y reproducirse con mayor eficacia.

Esto no quiere decir que todos los osos polares procedan de un único oso polar. De la misma manera, no quiere decir que todos los humanos procedamos de una pareja única y primigenia. Las mutaciones ocurren varias veces en un grupo y, al ser más aptos, comienzan a superar en números a la población original.

Para este estudio tenemos que centrarnos en los conceptos de *analogía* y *homología* de los rasgos que hay entre especies.

En biología, se suele distinguir entre dos clases de semejanzas. Los rasgos llamados «análogos» son aquellos que cumplen una determinada función común, aunque hayan surgido en diferentes ramas del árbol evolutivo. A estos rasgos no se les considera variantes de «un mismo» órgano. Un ejemplo típico de rasgos análogos son las alas de las aves y las alas de los insectos. [...] Los rasgos «homólogos», en cambio, pueden o no cumplir una misma función, si bien descienden de un antepasado común y, por consiguiente, presentan una estructura similar que revela que se trata de «un mismo» órgano. El ala de un murciélago, la pata delantera de un caballo, las aletas frontales de una foca, la garra de un topo y la mano de un humano pueden realizar funciones diferentes, pero todas ellas son modificaciones de la extremidad delantera de un antepasado común a todos los mamíferos. [...] La pregunta clave es si el lenguaje humano es homólogo (en términos biológicos, «el mismo órgano») a cualquier otro rasgo del reino animal. (Pinker, 1999, p. 380-381)

¿Es el lenguaje humano homólogo a la comunicación animal? La cuestión central aquí es que muchas especies comparten rasgos isomórficos que presentan diversos grados de desarrollo ya que proceden de un mismo origen.

No hay que perder de vista una cuestión esencial: *la evolución es fruto del azar; no sucede «para algo» sino que únicamente sucede*. Es decir, las jirafas no tienen el cuello largo porque necesitaban un cuello largo –tomando el ejemplo clásico de Jean-Baptiste Lamarck. Las jirafas tienen el cuello largo, debido a que una de ellas nació con un cuello un poco más largo que las otras, lo cual la hizo más apta para su supervivencia.

De ninguna forma podemos tomar a la evolución en el sentido de «mejora» ya que es, en realidad, una relación entre el azar y el entorno del organismo mutado. Dentro de esta red puede haber rasgos que se comparten debido a que proceden de un ancestro común. La cuestión en sí, nos lleva a hacernos preguntas acerca del origen del lenguaje como un hecho azaroso, ligado a las leyes de la herencia y la neurología.

En mi exposición supondré que *el lenguaje humano es un rasgo homólogo con otros tipos de comunicación animal* y, por lo tanto, procede de procesos evolutivos. El lenguaje humano debe ser el resultado de una mutación que provocó que el humano fuera más apto para adaptarse a su entorno.

La capacidad de hablar se considera, a todas luces, una facultad natural del ser humano. Es decir, todo humano puede adquirir una lengua ya que es parte de la naturaleza –biológica– humana.

En el «Origen del hombre», Darwin ya había postulado la dimensión biológica de la lengua.

Uno de los fundadores de la noble ciencia de la Filología observa que el lenguaje es un arte, como la fabricación de la cerveza o del pan. Nosotros nos atrevemos a decir que hubiera sido más acertado buscar el *simil* en la escritura. [Por supuesto que no es un auténtico instinto, ya que toda lengua debe aprenderse.] Esto poco importa, pero notaremos que el arte de hablar difiere mucho de todos los demás artes, porque el hombre tiene tendencia instintiva a hablar, como puede observarse en esa singular charla usada por los niños, mientras que ninguno de ellos muestra tendencia instintiva a fabricar cerveza, a hacer el pan o a escribir. A más de esto, debe tenerse en cuenta que ya no existe filólogo alguno que suponga que una lengua ha sido deliberadamente inventada, sino que de consuno [sic] afirman haberse desarrollado tonos inconscientemente y siguiendo muchos grados sucesivos. (Citado en Pinker, 1999, p. 20)

4.1. La comunicación animal

Una de las características del lenguaje humano en contra de la comunicación animal que interesan para esta exposición –además de la doble articulación, la posibilidad de tener un sistema de signos o el referente ausente– es si el lenguaje, al interior de la mente, puede funcionar como un «molde» para el pensamiento. Esta afirmación es aún muy controversial y aún no se ha llegado a un consenso entre los académicos.

Sin embargo, me suscribo a la idea de que estudiar el lenguaje nos permite acceder al pensamiento –es una «ventana a la mente» como dice Pinker–. El estudio del lenguaje es una forma de entendernos a nosotros mismos y nuestra condición humana. El lenguaje, en todo caso, es una función cognitiva.

Es decir, el lenguaje humano ocurre en la mente, y para ello debemos creer que hay una mente.

Esto se opondría a la visión conductista de que el lenguaje ocurre «para algo»: la comunicación. El enfoque generativista –en el que está cimentada mi argumentación– considera que antes del lenguaje hubo pensamiento. En un sentido metafórico, el primer ser humano *antes de hablar, debió pensar*. Es decir, si hubo una mutación azarosa que afectó al primer humano a nivel cognitivo, fue una mutación que afectó su pensamiento. La propuesta es que ese cambio cognitivo fue a nivel sintáctico: *la posibilidad de unir un signo con otro*. A partir de allí, debió de desarrollarse el lenguaje como sistema y, posteriormente, el habla.

No existe el «lenguaje animal» porque, para que haya lenguaje se requiere un *pensamiento*, una capacidad innata de procesamiento del sistema de signos en oposición. Por comodidad, usaré a veces el término «lenguaje» para referirme a la emisión vocálica en animales, pero no debe ser interpretada más que como «comunicación».

Podemos rastrear la comunicación animal en búsqueda de homología con el lenguaje humano. Sin embargo, existen elementos en los sistemas de signos de los animales que encajan mejor en el rastreo de un posible origen de las lenguas humanas.

Posiblemente los sistemas de comunicación con los que podemos empezar a vislumbrar algo similar a un sistema semiótico sea entre las ranas y las abejas. De allí podemos pasar a especies más cercanas al humano para notar ciertos isomorfismos en la comunicación humana y la animal.

4.1.1. Comunicación en ranas y abejas

Las ranas o, específicamente, los *anuros* –clasificación que comprende a las ranas y sapos– son el ejemplo más básico en la relación entre biología y comunica-

ción. Las ranas no parecen tener variaciones en sus tonos, pero las tienen (Kelley, 2004, p. 751). El croar de los anuros es monótono ya que no tiene variación de frecuencia, sólo de amplitud. En general, poseen dos tipos de sonido: uno agresivo para marcar su territorio y otro que indica a las hembras el tamaño y la fertilidad del macho (Kelley, 2004, p. 751).

En el artículo de Kelley (2004) nos muestra que, los machos sobresalen del coro de sapos por medio de la amplitud del sonido –croan más fuerte–. Las hembras que se encuentran interesadas en el macho captan su croar y emiten llamadas de respuesta para acordar un encuentro.

Es decir, las ranas croan con un único propósito: la reproducción. El sistema de comunicación de los anuros está completamente centrado en una función biológica y determinado por causas biológicas.

Su croar está condicionado a dos sistemas hormonales: uno que es un sistema neuromodulador compuesto de vasotocin arginina y otro que es un sistema endocrino que consiste en el conjunto de las hormonas esteroideas –por ejemplo, la testosterona, la dihidrotestosterona o el estrógeno– producidas por las gónadas (Arch y Narins, 2009, p. 2). Actualmente, según nos dice Leary (2009), las ranas y los sapos son uno de los grandes estándares para medir qué tanto las hormonas –o algún otro mecanismo biológico– influyen en la emisión de sonidos.

Otros animales no tienen la capacidad de producción de sonidos vocálicos pero si poseen algo que podemos casi llamar «lenguaje». Karl von Frisch (1974) descubrió, por observación empírica, que las abejas no sólo identificaban los sitios de alimento por medio del olor de las flores; encontró que las abejas eran capaces de crear e interpretar signos. Esta semiología de la danza de las abejas fue lo que le valió ganar el Premio Nobel en 1974.

Según von Frisch, las abejas mielíferas exploradoras realizan danzas frente al resto de la colmena. Estos «bailes» dan idea exacta a las abejas recolectoras de distancia de alimento, tipo de alimento y dirección de vuelo con respecto a la posición del sol (von Frisch, 1974, p. 74). Las dificultades científicas y epistemológicas acerca de un «lenguaje» de abejas han mantenido la controversia de la hipótesis de von Frisch durante varias décadas con cientos de experimentos posteriores con resultados de aprobación y refutación por igual en la comunidad científica (Wenner, 2002). Sin embargo, estudiar un posible «lenguaje» en las abejas ha permitido establecer algunos parámetros entre cognición y comportamiento social por medio del estudio de la neurología de las abejas mielíferas (Menzel, 2012).

4.1.2. Comunicación en las aves

El croar provocado por las hormonas y las danzas pueden sonar aún muy lejanas a nuestra idea de «lenguaje». Existen animales que pueden emitir soni-

dos vocálicos similares a los humanos: los pericos. Podemos argumentar que los pericos no hablan; ellos solo imitan sonidos –tanto que pueden imitar el sonido de un teléfono o una aspiradora si quieren– y que estos sonidos son fruto del condicionamiento.

Sin embargo, hay evidencia científica de que los pericos pueden crear oraciones simples y asociar significados a sonidos al nivel de un niño de cuatro a seis años (Pepperberg, 2006, p. 77). El más famoso de ellos posiblemente es Alex, un perico gris africano, que con su voz logra:

...etiquetar cincuenta objetos diferentes, siete colores, cinco formas y cantidades hasta el número seis. Él combina estas etiquetas para identificar, solicitar, rechazar, clasificar y cuantificar unos cien objetos diferentes. Él posee uso funcional pleno de frases tales como «ven aquí», «quiero X» y «quiero ir a Y» donde X e Y son, respectivamente, etiquetas apropiadas de objeto o ubicación. Él posee los conceptos de las categorías «grande / pequeño», «igual / diferente», «ausencia y cantidad»... (Pepperberg, 2006, p. 78)²

Evidentemente, la habilidad de «habla» de Alex no fue espontánea, sino fue el resultado de un entrenamiento. Sin embargo, no fue por medio de condicionamiento estímulo-respuesta al estilo de las teorías de Pavlov o Skinner. Se usó un método llamado «Model-Rival system» en el cual el perico va aprendiendo conceptos por medio de la imitación –ya sea de otros pericos o de humanos– hasta que él logra formular sus propios conceptos. (Pepperberg, 2006, p. 78)

Es de particular interés que sus habilidades fueron inferidas. No son resultado del condicionamiento operante –el cual es común en la investigación con animales–, sino a partir de *respuestas vocálicas* a *preguntas vocálicas*. Es decir, él demuestra un intrigante paralelismo comunicativo con los humanos jóvenes, a pesar de su distancia filogenética. Las aves más jóvenes han comenzado a imitar los resultados de Alex. Es improbable que yo le haya enseñado a Alex y a otros loros estas habilidades *de novo*, lo cual sugiere que sus logros se derivan de arquitecturas cognitivas y neurológicas existentes (Pepperberg, 2006, p. 78)³

²«Using English vocalizations, Alex labels 50 different objects, 7 colors, 5 shapes and quantities up to and including six. He combines these labels to identify, request, refuse, categorize and quantify about 100 different objects. He has functional use of phrases such as “Come here”, “I want X” and “Wanna go Y” where X and Y are, respectively, appropriate object or location labels. He has concepts of category, bigger/smaller, same/different, absence and quantity; some of these will be discussed in detail below.» *La traducción es mía*.

³«Of particular interest is that his abilities are inferred not from operant tasks common in animal research, but from vocal responses to vocal questions; that is, he demonstrates intriguing communi-

Lo interesante en el caso de Alex son dos puntos clave: primero, Alex responde a estímulos de habla oral, es decir, –de cierta manera– «entiende» las palabras y puede emitir vocalizaciones que pueden ser entendidas; en segundo lugar, Pepperberg (2006) sugiere que los pericos ya poseen «estructuras cognitivas preexistentes» al lenguaje, lo que les permite «aprender» estas vocalizaciones.

4.1.3. Comunicación en los monos

Los ejemplos anteriores pueden sonar lejanos ya que nos referimos a animales que, taxonómica y evolutivamente hablando, están lejos de los seres humanos. ¿Que sucede si nos acercamos a nuestra clase, la de los mamíferos?

Podemos ser más específicos y concentrarnos en el orden de los *primates* y, con mayor especificidad, en el suborden de los *haplorrinos* –que es donde se encuentra el género humano, además de otros «monos»–.

Posiblemente uno de los experimentos más conocidos en la literatura científica en cuando a lenguaje animal –después de las abejas de von Frisch– sean los que realizó Robert M. Seyfarth (1980) con los monos «Vervet», *monos verdes* o cercopiteco verde (*Chlorocebus pygerythrus*).

Seyfarth y cols. notaron, por observación, que estos monos tenían diferentes chillidos los cuales eran emitidos dependiendo de ciertos elementos de su entorno. Por medio de datos empíricos determinó que los monos Vervet poseen aullidos que equivalen a tres «protosignos lingüísticos» –si podemos llamarlos así, ya que unen un significante con un significado– y todas ellas sirven para alertar a sus semejantes. Estas chillidos son «serpiente», «leopardo» y «águila».

Los monos verdes emiten diferentes llamadas de alarma ante diferentes depredadores. Reproducimos grabaciones de las alarmas cuando los depredadores estaban ausentes lo cual causó que los monos corrieran hacia los árboles con las alarmas de «leopardo»; miraran hacia arriba con las alarmas de «águila»; y miraran hacia abajo con las alarmas de «serpiente». Los adultos alertan, principalmente, de la amenaza de leopardos, águilas y pitones; los jóvenes emiten la alarma de «leopardo» ante diversos mamíferos, el alarma de «águila» ante otras aves, y la de «serpiente» ante diversos objetos con forma de serpiente. (Seyfarth y cols., 1980)⁴

cative parallels with young humans, despite his phylogenetic distance. Younger birds have begun to replicate Alex's results. It is unlikely that I taught Alex and other parrots these abilities de novo, which suggests that their achievements derive from existent cognitive and neurological architectures.» *La traducción es mía*.

⁴«Vervet monkeys give different alarm calls to different predators. Recordings of the alarms played back when predators were absent caused the monkeys to run into trees for leopard alarms,

No se trata de los gruñidos y ladridos que emiten un oso o un perro; los monos han logrado desarrollar un léxico que asocia un significado con un sonido.

Esta asociación entre sonido, significado y referente en los monos Vervet es sumamente compleja. Sin embargo, ellos realizan estos sonidos sin que los aprendan de sus semejantes. Si dejamos a un mono verde en cautiverio y asilado en una jaula, seguirá produciendo los mismos sonidos igual que los de su especie (Seyfarth y cols., 1980). Lanzará la alerta de serpiente si ve moverse la manguera del jardinero del zoológico o la de águila si ve volar un cometa o un avión de juguete (Seyfarth y cols., 1980).

Es decir, su forma de comunicación ha sido heredada genéticamente. Existe un mecanismo en la biología de los monos verdes que permite que, aún aislado, posea el impulso instintivo de comunicar el peligro.

Existen otros animales que poseen un sistema de comunicación que tiene rasgos sociales: el macaco japonés o *Macaca fuscata* (Koda y Sugiura, 2010). Se han estudiado mucho las llamadas del macaco japonés –llamadas «coo-calls»– debido a varios factores: su amplio repertorio de llamadas, que una madre macaco puede reconocer a su hijo sólo por el sonido que produce, su uso para la cópula o para invitar al acicalamiento grupal.

Es decir, los macacos japoneses pueden elaborar e interpretar sus llamadas por «discriminación vocal» de la misma manera que nosotros podemos distinguir una [a] de una [o] por su rango de frecuencia acústica. (Pinker y Jackendoff, 2005, p. 128).

Los macacos japoneses intercambian sus llamados «coo» en una gran variedad de contextos pero no agonistamente. Además, las hembras madres de los macacos japoneses pueden reconocer a sus crías por sus «coo-calls». La función básica de estas «coo-calls» parece ser que sirve para localizar a los miembros pertenecientes a su grupo y mantener su cohesión por medio de lo vocal (Tanaka, Sugiura, y Masataka, 2006, p. 8)⁵

Lo importante de la comunicación en los macacos japoneses –y otras especies de monos y simios– es la función social que desempeña. Al poder discriminar

look up for eagle alarms, and look down for snake alarms. Adults call primarily to leopards, martial eagles, and pythons, but infants give leopard alarms to various mammals, eagle alarms to many birds, and snake alarms to various snakelike objects. Predator classification improves with age and experience.» *La traducción es mía.*

⁵«Japanese macaques exchange coo calls in a variety of contexts, but not agonistically (Itani 1963; Green 1975b). In addition, mother Japanese macaques can recognize the coo calls of their offspring (Pereira 1986). The basic function of this coo call seems to be to locate group members and maintain vocal within- group contact (Okayasu 1987; Sugiura 1998).» *La traducción es mía.*

auditivamente los sonidos «que pertenecen a su grupo», es posible que los macacos japoneses reconozcan a quien no pertenece a ellos. Un macaco de la región de Ohirayama tiene vocalizaciones ligeramente diferentes a los de uno de la región de Yakushima que no son significativas para su comprensión pero sirven para que ellos sepan a que grupo pertenecen. (Tanaka y cols., 2006).

El grupo cautivo de Ohirayama se introdujo de la población silvestre en los bosques de tierras bajas de Yakushima. Él [Sugiura] encontró que los macacos de ambas poblaciones interactuaron vocalicamente e intercambiaron llamadas con otros miembros del grupo utilizando intervalos cortos. [Sugiura] midió acústicamente los intervalos entre dos llamadas «coo» consecutivas producidas entre dos macacos diferentes y por un solo macaco. [...] los macacos esperan la respuesta de las llamadas de otros usuarios de acuerdo con las reglas temporales y repiten la misma llamada después de confirmar que los otros no emiten una llamada de respuesta por los miembros del grupo. Estas reglas temporales de intercambio vocal se confirmaron en los grupos Yakushima y Ohirayama. (Koda y Sugiura, 2010, p. 171-172)⁶

En este sentido, los macacos japoneses tienen dos aspectos asombrosos que podemos asociar con un lenguaje más social. Por una parte, logran identificar a aquellos que son «extranjeros» para su comunidad de la misma manera en que nosotros podemos identificar a alguien que no pertenece a nuestra región natal sólo por escuchar su variante dialectal –de la manera que identificaríamos alguien que viene de España, Argentina o el norte y sur del país–.

Por otra parte, podemos decir que los macacos «conversan» y mantienen reglas rígidas para que esa conversación se lleve a cabo. El experimento de Sugiura (1993) demuestra que los macacos no se interrumpen al conversar, cada uno espera su turno. Si uno dice algo y no recibe respuesta, repite su llamado más fuerte para que le respondan.

Ellos incluso pueden incorporar nuevas «coo-calls» a su repertorio como demostró el equipo de Hihara, Yamada, Iriki, y Okanoya (2003) al entrenar a un grupo de ellos para que crearan nuevos llamados para diferentes tipos de comida y herramientas.

⁶«The captive group of Ohirayama was introduced from the wild population in lowland forest of Yakushima. He found that macaques in both populations vocally interacted and exchanged calls with other group members using short intercall intervals. He acoustically measured the intervals between two consecutive coo calls produced by two different macaques and by one single macaque. [...] In other words, macaques likely waited for response calls from other members according to temporal rules, and then repeated coo calls after confirming that no response coos had been emitted by group members. These temporal rules of vocal exchange were confirmed in both the Yakushima and Ohirayama groups.» *La traducción es mía.*

4.1.4. Comunicación en los primates

Posiblemente, los experimentos en cuanto a comunicación animal que han sido más reveladores –y controvertidos– sean aquellos que se han realizado en primates ya que tenemos mucha relación con ellos en cuanto a su dotación genética.

Se ha estudiado, por ejemplo, que los bonobos (*Pan paniscus*) poseen más de veinte gestos diferentes con significado (Pika, Liebal, y Tomasello, 2005, p. 44), de los cuales, muchos son compartidos socialmente y otros son compartidos como especie. Pika y cols. (2005), en «*Gestural communication in subadult bonobos (Pan paniscus): repertoire and use*» se dieron a la tarea de identificar los diferentes gestos con significado de siete individuos en dos grupos diferentes de bonobos.

Concluimos que habíamos observado todos los repertorios actuales de los siete individuos. En general, se observó un total de 1290 señales, que podrían dividirse en 20 diferentes gestos distintos [...]. Consistían en un gesto auditivo (5%), ocho gestos táctiles (40%) y 11 visuales (55%). Estos gestos se realizaron principalmente en el contexto de juego (55%), pero también en contextos de los alimentos (14%), los viajes (10%), el cuidado maternal (5%), el paseo (5%), el sexo (5%), la afiliación (3%) y el agonismo (3%).⁷

En dicho experimento se determinó que los gestos con significado no eran de orden instintivo, sino que pertenecían a cada comunidad y eran adquiridos en las etapas de crianza de los bonobos. Es decir, los bonobos tenían que *aprender* el significado de los gestos de su comunidad para poder comunicarse con los otros.

Para investigar si los bonobos adquieren sus gestos a través de un proceso de aprendizaje social o individual, nos concentramos en concordancias en los repertorios gestuales dentro y entre grupos, y en gestos idiosincráticos y específicos de cada grupo. Encontramos tres gestos idiosincráticos y mostramos que las concordancias entre grupos y dentro de ellos eran similares. Partiendo de estos resultados como indicadores de un proceso de aprendizaje social, los presentes hallazgos son consistentes con los hallazgos sobre los chimpancés [Tomasello et al., 1994] y los gorilas [Pika et al., 2003]. Además, amplían la teoría de Tomasello y Zuberbühler [2002] sobre los chimpancés

⁷ «We concluded that we had observed the current repertoires of all seven individuals. Overall, we observed a total of 1290 signals, which could be divided into 20 different distinct gestures (see Table II, performance of gestures). They consisted of one auditory (5%), eight tactile (40%), and 11 visual (55%) gestures. These gestures were performed mainly in the play context (55%), but also in the food (14%), travel (10%), nurse (5%), ride (5%), sex (5%), affiliative (3%), and agonistic (3%) contexts.» *La traducción es mía.*

comunes y confirman que el principal proceso de aprendizaje involucrado en la adquisición de gestos por los bonobos es la ritualización ontogenética.

Se observaron dos gestos específicos de grupo (pirueta y golpeo) que no pueden ser fácilmente explicados por diferentes contextos físicos o sociales. Los hallazgos del presente estudio son, por tanto, coherentes con las observaciones sobre los gestos específicos de grupos en chimpancés silvestres, como el recorte de hojas [Nishida, 1980], el cierre de la mano [McGrew y Tutin, 1978] o el rascado social recientemente registrado [Nakamura et al., 2000]. Además, apoyan los hallazgos de de Waal [1988] e Ingmanson [1987], quienes observaron dos gestos específicos (aplaudir y golpear el pecho) en el grupo de bonobos en el zoológico de San Diego en el contexto de la preparación. El aplauso gestual se utilizó entre conoespecíficos y se observó en siete animales de tres grupos diferentes. Curiosamente, este comportamiento fue realizado sólo por los animales que fueron criados por humanos, lo que implica que el aplauso puede haber sido transmitido de los seres humanos a bonobos. Además, Thompson [1994] mostró que este gesto se extendió desde el grupo de San Diego a otros zoológicos por la transferencia de individuos [...], sugiriendo que existe un proceso de aprendizaje social. Además, en un grupo de gorilas cautivo en el zoológico de Apenheul [Pika et al., 2003] se observó recientemente el gesto de «saludo con el brazo» el cual es específico del grupo. Aunque los datos actuales son limitados debido al pequeño tamaño de la muestra, estos resultados implican que un proceso de aprendizaje social subyacente está involucrado en la adquisición de gestos específicos (vease Tomasello y Call [1997] para una opinión diferente) El debate en curso está centrado sobre las diferencias específicas de la población y la «cultura» en los monos [...]. (Pika y cols., 2005, p. 56)⁸

⁸«To investigate whether bonobos acquire their gestures via a social or an individual learning process, we focused on concordances in the gestural repertoires within and between groups, and on idiosyncratic and group-specific gestures. We found three idiosyncratic gestures, and showed that the concordances between and within groups were similar. Taking these results as indicators against a social learning process involved, the present findings are consistent with findings on chimpanzees [Tomasello et al., 1994] and gorillas [Pika et al., 2003]. Furthermore, they extend the theory of Tomasello and Zuberbühler [2002] regarding common chimpanzees, and confirm that the main learning process involved in the acquisition of gestures by bonobos is ontogenetic ritualization.

We observed two group-specific gestures (somersault and punch) that cannot be easily explained by different physical or social settings. The findings of the present study are therefore consistent with observations on group-specific gestures in wild chimpanzees, such as leaf clipping [Nishida, 1980], grooming hand clasp [McGrew & Tutin, 1978], or the recently recorded social scratch [Nakamura

Lo que se revela de este estudio es que la comunicación entre bonobos es más compleja de lo que suponíamos. No sólo se trata de estímulos y su respuesta, de orden instintivo, sino que implica situaciones sociales, dependientes de contexto. Los bonobos han logrado crear una serie de gestos los cuales se conservan debido a que viven en comunidad; no solo son «gritos animales» sin sentido alguno.

Para hacer inferencias sobre el papel que juegan los gestos en la comunicación de los bonobos, analizamos las respuestas de los receptores hacia un gesto. Este enfoque nos permitió investigar si los bonobos usan gestos para lograr una determinada meta que es entendida por el receptor. Los resultados mostraron que los bonobos responden a la mayoría de todos los gestos realizados observando al emisor y realizando un gesto de respuesta o interactuando con el emisor. Además, en un tercio de los casos el emisor siguió realizando gestos adicionales si el receptor no reaccionaba.

En cuanto a la flexibilidad de uso, encontramos que los bonobos utilizaban unos 10 gestos en, al menos, dos o más categorías funcionales y en un solo contexto utilizaban un promedio de dos señales gestuales diferentes. Además, los bonobos ajustaron su uso de los gestos al estado de atención del receptor (es decir, realizaron un gesto visual con más frecuencia cuando el receptor estaba mirando que cuando no lo estaba). Estos hallazgos son consistentes con estudios sobre chimpancés [Tomasello et al., 1994, 1997] y gorilas [Pika et al., 2003]. Al igual que los hallazgos en los gorilas, el presente estudio demostró que los gestos táctiles también representan los gestos más flexibles (es decir, muestran la mayor variedad de categorías funcionales), mientras que los gestos auditivos y visuales están vinculados

et al., 2000]. In addition, they support the findings of de Waal [1988] and Ingmanson [1987], who observed two group-specific gestures (clap and chest beat) in the bonobo group at San Diego Zoo in the context of grooming. The gesture clap was used between conspecifics and was observed in seven animals from three different groups. Interestingly, this behavior was performed only by animals that were human-raised, implying that the gesture clap may have been transmitted from humans to bonobos. In addition, Thompson [1994] showed that this gesture spread from the San Diego group to other zoos by the transfer of San Diego individuals to these zoos (for similar results on common chimpanzees, see de Waal and Seres [1997]), suggesting that a social learning process is involved. In addition, in a captive gorilla group at Apenheul Zoo, Pika et al. [2003] recently observed the group-specific gesture armshake. Although the present data are limited due to the small sample size, these results imply that an underlying social learning process is involved in the acquisition of specific gestures (but see Tomasello and Call [1997] for a different opinion), and therefore add fuel to the ongoing debate concerning population-specific differences and "culture" in apes [e.g., Boesch, 2003; Hohmann & Fruth, 2003a; Nakamura et al., 2000; Nishida, 1987; Pika et al., 2003; Sugiyama, 1981].» *La traducción es mía.*

a menos contextos (especialmente, en los contextos de juego). (Pika y cols., 2005, p. 57)⁹

Lo que es relevante de este estudio es la capacidad de los bonobos de aprender gestos que pertenecen a una comunidad –por eso se sugiere la idea de «cultura» entre los monos–, de recordarlos y de usarlos en contextos específicos con significación específica. Esto tendría que darnos claves sobre la propia mente humana. Los bonobos, al parecer, pueden conservar cierta forma rudimentaria de «lexicón» y pueden reconocer los contextos de uso según la situación comunicativa.

Lo sorprendente, como se dice en el estudio de Pika y cols. (2005), es que hablemos de «aprendizaje» en los bonobos –y, ciertamente, es sorprendente que nos sorprenda–. Los bonobos pueden aprender de otras especies, como el gesto de «aplausos» que fue tomado, en el estudio, de los humanos y de allí se distribuyó a la población general de los bonobos.

El problema filosófico que se abre es si podemos hablar de «mente» o de «conciencia» entre especies animales cercanas a la nuestra, como los bonobos. Algunos experimentos sugieren que existe una forma de conciencia. Para ello, se han hecho experimentos en primates donde existe una suerte de autoconciencia y autoreconocimiento cuando se ven a ellos mismo en el espejo (Heyes, 1995). Esto podría sugerir la idea de conciencia en los primates y, por tanto, que tienen una «mente».

Al hablar de los primates, la conciencia y la comunicación, es un lugar común hablar de los gorilas Koko y Michael –hermano de Koko–, entrenados por Francine Patterson en el zoológico de San Francisco (Patterson y Gordon, 2002).

La gorila llamada Koko se ha vuelto muy famosa al punto de ser casi una celebridad. Existen muchos videos en Youtube donde se muestra cómo es que se comunica con sus cuidadores por medio de la lengua de señas norteamericana.

⁹«To make inferences about the role gestures play in the communication of bonobos, we analyzed the responses of the recipients toward a gesture. This approach enabled us to investigate whether bonobos use gestures to achieve a certain goal that is understood by the receiver. The results showed that bonobos respond to the majority of all performed gestures by looking at the signaler, performing a response gesture, or interacting with the signaler. In addition, in one-third of the cases the signaler continued to perform additional gestures if the recipient did not react.

Concerning flexibility of use, we found that the bonobos used about 10 gestures in at least two or more functional categories, and in a single context used an average of two different gestural signals. In addition, the bonobos adjusted their use of gestures to the attentional state of the recipient (i.e., performed a visual gesture more often when the recipient was looking than when he was not). These findings are consistent with studies on chimpanzees [Tomasello et al., 1994, 1997] and gorillas [Pika et al., 2003]. Similarly to findings in gorillas, the present study demonstrated that tactile gestures also represent the most flexible gestures (i.e., show the highest variety of functional categories), whereas auditory and visual gestures were linked to fewer contexts (mainly the play context).» *La traducción es mía.*

Algunos de sus momentos más célebres son cuando pidió un gato como mascota –el cual fue tratado con delicadeza por la gorila hasta su muerte–. Dicho gato recibió un nombre propio específico dado por la gorila –lo llamó «bolita», debido a que «le parecía una bola»–, además de que lloró su muerte al ser informada de que el gato había sido atropellado ¹⁰. Además, ha recibido todo tipo de visitas de celebridades para «ser entrevistada»; posiblemente la más famosa sea con el actor Robin Williams.

Koko se ha instalado en el centro del debate acerca de la conciencia animal y la comunicación interespecies. Es importante tomar el experimento de Koko con todo el escepticismo que sea posible. Koko, al fin y al cabo, es un animal en cautiverio el cual ha sido entrenado. Es decir, no podemos dar fe completamente de su comunicación debido a que ha recibido entrenamiento por refuerzo –cualquier animal puede comunicarse con nosotros si lo entrenamos por medio de la comida y los «premios»–. Sin embargo, el experimento con Koko, puede aportar datos interesantes para esta investigación.

Imagina que eres un cazador de gorilas. Te ganas la vida y alimentas a tu familia a través del ilegal –pero lucrativo– asesinato de gorilas, chimpancés y otras especies en peligro de extinción para el comercio de carne de animales silvestres [...]. Los gorilas son animales grandes y tus clientes están dispuestos a pagar precios altos por su carne, así que tu actitud es: "¿Por qué no debería disparar a estos animales? Son carne. ¿Por qué debería sentirme mal por un gorila? Es un animal estúpido" [...]. Entonces imagina que aprendes más sobre un gorila en específico.

Koko se comunica usando lenguaje de señas, y tiene un vocabulario de más de 1.500 palabras. Ella también entiende el inglés hablado, y lleva a cabo a menudo conversaciones "bilingües", respondiendo en lengua de señas a las preguntas que se le hacen en inglés. Ella aprende las letras del alfabeto y puede leer algunas palabras impresas, incluyendo su propio nombre. También usa una computadora y ha alcanzado puntajes entre 85 y 95 en el Stanford-Binet Intelligence Test.

Koko demuestra autoconciencia al participar en comportamientos autodirigidos frente a un espejo, como hacer caras o examinar sus dientes, y por el uso apropiado del lenguaje auto-descriptivo. Además, sabe mentir para evitar las consecuencias de su propia mala conducta y anticipa las respuestas de otros a sus acciones. Ella se involucra en el juego imaginativo, en solitario y con otros gorilas. Ha realizado

¹⁰Vease «Koko the Gorilla Cries Over the Loss of a Kitten» [video] disponible en www.youtube.com/watch?v=CQCOHUXmEZg

pinturas y dibujos representativos. Ella recuerda y puede hablar sobre los acontecimientos pasados en su vida. Además, entiende y ha usado apropiadamente palabras relacionadas con el tiempo como "antes", "después", "tarde" y "ayer". (Patterson y Gordon, 2002, p. 165-166)¹¹

La gorila Koko representa un problema a resolver para la filosofía de la mente y del lenguaje. Si asumimos que el estudio de Patterson y Gordon (2002) llevado a cabo durante más de veintisiete años de adiestrar a Koko, es totalmente cierto e imparcial, tendríamos que replantearnos la idea de «lo humano» en cuanto a características propias de nuestra especie: hablar, recordar, aprender, construir.

Además, como podemos ver, Koko no solo es capaz de aprender y aprehender la lengua de señas norteamericana –y el inglés hablado– sino que, además, posee de cierta manera la capacidad pragmática del lenguaje. Es decir, es capaz de usar actos de habla –como mentir– y emplea adecuadamente unos pocos deícticos.

Si el uso pragmático del lenguaje en una especie no-humana no es sorprendente, no sé entonces qué lo sea. El uso de la lengua de Koko rebasa el sistema del lenguaje mismo y lo lleva al uso competente del mismo.

La diferencia fundamental que podemos encontrar entre Koko y el uso del lenguaje de un niño reside, esencialmente, en la combinación de ítems léxicos. Es decir, *en su sintaxis*.

John Bonvillian y uno de nosotros (Francine Patterson) compararon el desarrollo temprano del lenguaje de Koko con el de 22 niños humanos jóvenes de padres sordos que aprendieron la lengua de señas como su primera lengua. Aunque los niños humanos aprendieron nuevas señas más rápidamente que los gorilas, y menos de sus primeros

¹¹ «Imagine that you are a gorilla hunter. You earn your living and support your family through the illegal but lucrative killing of gorillas, chimpanzees, and other endangered species for the commercial bushmeat trade (Ammann, 1996; Rose, 1996a, 1996b). Gorillas are large animals, your customers are willing to pay premium prices for their meat, and your attitude is: "Why should I not shoot these animals? They're meat." "Why should I feel bad for a gorilla? He is just a stupid animal" (McCrae, 1997: 75). Then imagine you learn more about one individual gorilla.

Koko communicates using sign language, and has a vocabulary of over 1,500 words. She also understands spoken English, and often carries on "bilingual" conversations, responding in Sign to questions asked in English. She is learning the letters of the alphabet and can read some printed words, including her own name. She uses a computer. She has achieved scores between 85 and 95 on the Stanford-Binet Intelligence Test.

She demonstrates self-awareness by engaging in self-directed behaviors in front of a mirror, such as making faces or examining her teeth, and by her appropriate use of self-descriptive language (Figure 34). She lies to avoid the consequences of her own misbehavior, and anticipates others' responses to her actions. She engages in imaginary play, both alone and with others. She has produced representational paintings and drawings. She remembers and can talk about past events in her life. She understands and has appropriately used time-related words such as, "before", "after", "later", and "yesterday". » *La traducción es mía*.

signos aprendidos eran icónicos, había muchas similitudes entre las dos especies en el desarrollo temprano del vocabulario del lenguaje de señas. El contenido de los léxicos de Koko y Michael fue bastante similar al de los niños que aprendieron la lengua de señas, particularmente en el nivel de vocabulario de 50 ítems (Bonvillian y Patterson, 1993). A la edad de unos 20 meses, Koko comenzó a usar la lengua de señas para etiquetar nuevos ejemplos de conceptos adquiridos anteriormente, indicando que los significados de sus signos se basaban ahora más en las características de identificación de los conceptos que en instancias específicas concretas. Los pasos iniciales de los niños pequeños en la adquisición del significado se parecían a los de Koko. El desarrollo cognitivo y lingüístico de Koko durante los primeros años, aunque de ritmo más lento, se parecía al de los niños que aprendían la lengua de señas (Bonvillian y Patterson, 1997). Al igual que las conversaciones con niños pequeños, en muchos casos las conversaciones con gorilas necesitan interpretación basada en el contexto y el uso pasado de las señas en cuestión. A menudo es posible dar interpretaciones alternativas de las expresiones de los gorilas. Incluso, si el uso de las señas por los gorilas no responde a una definición particular del lenguaje, estudiar su uso puede darnos una perspectiva única desde la cual poder entender más directamente sus necesidades físicas y psicológicas. Al acordar un vocabulario común de signos, establecemos una comunicación bidireccional entre humanos y gorilas. Podemos aprender tanto de lo que dicen como podemos evaluando cómo lo dicen. (Patterson y Gordon, 2002, p. 169-170) ¹²

¹² «John Bonvillian and one of us (FGPP) compared Koko's early language development to that of 22 young human children of deaf parents learning sign as their first language. Although the human children learned new signs more rapidly than the gorillas, and fewer of their first-learned signs were iconic, there were many similarities between the two species in early sign vocabulary development. In comparisons of the first ten and first 50 vocabulary items acquired by the subjects, the content of Koko's and Michael's lexicons was quite similar to that of the children learning to sign, particularly at the 50-item vocabulary level (Bonvillian and Patterson, 1993). By the age of about 20 months, Koko began using her signs to label new instances of previously acquired concepts, indicating that the meanings of her signs were now based more on the identifying characteristics of the concepts than on specific concrete instances. The young children's initial steps in acquisition of meaning resembled Koko's. Koko's cognitive and language development during the first several years, although slower-paced, resembled that of the sign-learning children (Bonvillian and Patterson, 1997). Like conversations with young children, in many cases conversations with gorillas need interpretation based on context and past use of the signs in question. Alternative interpretations of gorilla utterances are often possible. Even if the gorillas' use of signs does not meet a particular definition of language, studying their usage can give us a unique perspective from which to understand more directly their physical and psychological requirements. By agreeing on a common vocabulary of

Koko, a pesar de su habilidad en la lengua de señas norteamericana, es incapaz de unir un ítem léxico con otro a fin de dar significados más complejos. A pesar de que su desarrollo lingüístico puede ser comparado con niños sordos, el gorila se ve incapacitado para formular oraciones. Todo a lo que puede referir es a palabras aisladas que deben ser interpretadas en el contexto de la comunicación.

Koko ha generado numerosos signos nuevos sin instrucción, modulando las señas estándar en lengua de señas para transmitir cambios gramaticales y semánticos; usó signos simultáneamente, creó nombres compuestos (algunos de los cuales pueden ser metáforas intencionales), tomados como señas autodirigidas y no instrumentales. Además, ha utilizado lenguaje para referirse a las cosas removidas en el tiempo y el espacio, para engañar, insultar, argumentar, amenazar y expresar sus sentimientos, pensamientos y deseos. Estos hallazgos, junto con la documentación de sus capacidades de adquisición y producción de lenguaje de señas y su capacidades de comprensión en lengua de señas y oral en inglés, apoyan la conclusión de que la adquisición y el uso del lenguaje por los gorilas se desarrolla de manera similar a la de los niños humanos, pero a un ritmo mucho más lento. (Patterson y Gordon, 2002, p. 168) ¹³

Al parecer, Koko es capaz de generar palabras compuestas para referirse metafóricamente a ciertos eventos. Esto, como dije anteriormente, debe ser tomado con escepticismo. No es posible determinar qué tanto es lo que Koko en verdad dice y qué tanto es lo que es sobreinterpretado por sus cuidadores.

Lo que es importante del experimento de Koko es hacernos preguntas acerca del origen del lenguaje humano. Si tuviéramos, en el inicio de nuestra especie, un primate tan inteligente como éste pero con la capacidad cognitiva de juntar palabras para crear conceptos complejos, ¿no tendríamos así una aproximación al origen del lenguaje humano?

signs, we establish two-way communication between humans and gorillas. We can learn as much from what they say as we can by evaluating how they say it.» *La traducción es mía.*

¹³«Koko has generated numerous novel signs without instruction, modulated standard signs in ASL to convey grammatical and semantic changes, used signs simultaneously, created compound names (some of which may be intentional metaphors), engaged in self-directed and noninstrumental signing, and has used language to refer to things removed in time and space, to deceive, insult, argue, threaten, and express her feelings, thoughts, and desires. These findings, together with documentation of her sign language acquisition and production capabilities, and her sign language and spoken English comprehension capabilities, support the conclusion that language acquisition and use by gorillas develops in a manner similar to that of human children, but at a slower rate.» *La traducción es mía.*

Es decir, si existiera un cambio a nivel neuronal que hubiera permitido a un «Koko primitivo» la capacidad de juntar dos palabras y crear compuestos más y más complejos, y esta capacidad neuronal se pudiera heredar de generación en generación, ¿no tendríamos indicios de nuestra propia naturaleza?

Antes de continuar con esta idea, terminaré con un resumen de Álvarez González (2010) en el artículo «La relación entre lenguaje y pensamiento de Vigotsky en el desarrollo de la psicolingüística moderna»:

Los primates no humanos y concretamente los chimpancés son las segundas criaturas en inteligencia del reino animal (Pinker, 1994), por lo cual deberían ser capaces de aprender un lenguaje, aunque fuera de menor sofisticación que el nuestro. Muchos defensores de la teoría de la continuidad, desde los años 30 hasta la actualidad, se han empeñado en enseñar el lenguaje a chimpancés y gorilas, algunos de cuyos estudios pioneros fueron analizados y comentados ya por Vigotsky (1934). El razonamiento que subyace a estos trabajos se basa en la premisa de que el lenguaje es fruto de una evolución o refinamiento progresivo de sistemas de comunicación animal más primitivos. Aparte de ciertos cambios evolutivos en los órganos vocales y en los circuitos neurales responsables de la percepción y producción del habla, lo que nos diferencia de otras especies es un incremento en las habilidades generales de aprendizaje o inteligencia. Desde este punto de vista los chimpancés, que poseen una elevada inteligencia, deberían ser capaces de aprender un lenguaje, quizás no tan complejo como el humano pero sí con las mismas características esenciales. Por ello, son muchos los esfuerzos que se han realizado en esta línea, entrenando intensivamente a primates en las artes del lenguaje.

Los trabajos pioneros fueron los de Kellogg y Kellogg, en los años treinta, y de Hayes en la década de los cincuenta, cuyo relativo fracaso se debió al intentar enseñarles a los chimpancés el lenguaje hablado, sin tener en cuenta que no se hallan fisiológicamente equipados para producir sonidos humanos, algo en lo que hay que reconocer que Vigotsky se equivocó. Posteriores intentos subsanaron este error, optando por enseñar lenguajes no verbales a los primates, tales como lenguajes de signos en los casos del chimpancé Washoe criado por los Gardner [...] y del gorila Koko [...]. Otros optaron por símbolos basados en fichas sobre tableros, como el trabajo de Premack y colaboradores con Sarah, una chimpancé [...]. La cantidad de datos y, en muchos casos, de logros obtenidos con primates parlantes fue ingente.

Dicho esto, Álvarez González (2010, p. 20-21) hace un recuento de los resultados y logros que se obtuvieron con la experimentación en primates. Muestro aquí algunos que son relevantes para esta investigación:

1) los primates entrenados exhibieron, en líneas generales, una gran capacidad para aprender elementos léxicos. El caso más llamativo es el del gorila Koko que aprendió casi 700 palabras distintas, de las cuales casi 400 formaban su vocabulario normal (Aitchison, 1989).

2) Los animales estudiados manifestaron una buena capacidad simbólica, y su conducta en relación con el lenguaje cumple muchos de los requisitos que diferencian a éste de otros sistemas de comunicación. Algunas de esas características son: semántica (empleo de símbolos con significado o que se refieren a objetos y acciones), desplazamiento (los primates mostraron capacidad para referirse a eventos que no estaban presentes temporal o espacialmente), y arbitrariedad (aprendieron palabras que no tienen relación directa con lo que representan). Además, fueron capaces de generalizar el uso de los signos a distintas situaciones (v.g. usar la palabra “más” en situaciones distintas a aquella en la que la aprendieron). También exhibieron cierto grado de creatividad o productividad: algunos animales estudiados, como Washoe o Koko, crearon palabras para referirse a objetos o acciones cuyos signos no habían aprendido, tales como decir “pájaro agua” para referirse a un cisne. Es de destacar que muchos de estos rasgos eran considerados, hasta ese momento, propios y exclusivos del ser humano.

3) Sin embargo, los logros con respecto a la sintaxis fueron menos impresionantes. En general, los primates no mostraron ser capaces de aprender que el lenguaje es gramatical y dependiente de estructura. Mientras los niños de muy pocos años comprenden y producen frases gramaticalmente correctas y complejas, los primates no llegan a aprender algo tan básico en la sintaxis como el orden de las palabras. Todos los estudios, cuando se analizan sin apasionamiento, mostraron que la sintaxis, tras muchos años de duro entrenamiento, no alcanza el nivel elemental de un niño de 2 años (Carreiras, 1997). Además, el número de palabras usadas en una frase permaneció constante (Pinker, 1994). Una excepción es el estudio más reciente de Savage-Rumbaugh et al. (1993) según el cual cierto tipo de chimpancé, los bonobos, son capaces de aprender una sintaxis sencilla y reglas gramaticales simples. Sin embargo, a pesar de este último resultado (todavía sujeto a discusión), puede concluirse que lo característico del lenguaje de signos de

los primates no humanos son secuencias repetitivas con estructura inconsistente (Seidenberg y Petitto, 1979), sin contener nada que se parezca demasiado a la sintaxis (Carreiras, 1997).

4) Además de capacidad simbólica, los primates parecen tener buenas capacidades representacionales, exhiben conductas inteligentes complejas, habilidades sofisticadas de resolución de problemas, etc. El gorila Koko, por ejemplo, tenía un cociente intelectual de casi 90 según el Stanford-Binet, aunque posiblemente fuera superior debido a los sesgos humanos de dicho test (ver Aitchison, 1989). Estos datos sobre las habilidades cognitivas de los primates contrastan enormemente con sus logros lingüísticos, que no pasan de un nivel absolutamente básico. Como señala Carreiras (1997), niños con retraso cognitivo general y CI en torno a 50 presentan sintaxis y conversaciones fluidas (habilidades lingüísticas normales), mientras que son incapaces de realizar tareas que Koko o Sarah harían sin ningún problema. También es notable su diferencia con las habilidades lingüísticas de niños normales de pocos años, quienes sin esfuerzo ni entrenamiento formal e intensivo adquieren una sintaxis compleja en muy poco tiempo. De hecho, Terrace, uno de los investigadores que entrenó durante años a Nim Chimpsky, otro chimpancé, concluye que las semejanzas entre la conducta signante de Nim y las conversaciones de un niño pequeño son absolutamente superficiales (Terrace, 1979). Para Pinker (1994: 370), “las capacidades de los chimpancés relacionadas con algo que pudiera recordar a la gramática eran prácticamente nulas”. [...]

Álvarez González (2010) considera que el problema es de aprendizaje. Sin embargo, como he mostrado, la mayor parte de los animales poseen la capacidad de aprender tanto el sistema de comunicación de su especie como el de otras especies. Mi propuesta es que la diferencia entre el lenguaje humano y el animal se centra en el punto 3 de su explicación: la sintaxis. No podemos hablar de una «gramática animal» dado que la gramática parece ser un componente específicamente humano.

Nuestra idea de «lenguaje humano» tendría que, necesariamente, centrarse en la sintaxis y el desarrollo de la sintaxis. El problema trascendente sería buscar «dónde está» y «cómo es que se transmite de humano a humano, de generación en generación».

Una de las posibles soluciones de esto tal vez la encontremos en la genética.

4.2. Genética y el desarrollo filogenético

Es difícil determinar cómo ocurrió el proceso de origen y desarrollo del lenguaje en los primeros humanos. Esto es debido a que no existen registros escritos o fónicos que nos permitan dilucidar cómo fue que los homínidos adquirieron la facultad de hablar.

Si algo podemos saber es que el origen del lenguaje fue un proceso multifactorial y no un proceso lineal. Cambios en la dieta, cambios en el clima, la preservación de la especie, capacidad de simbolización y de praxis, postura erguida, sedentarismo, cuidado de las crías, el desarrollo de la laringe, el descubrimiento del fuego y muchos otros factores contribuyeron para que el *homo sapiens* pudiera desarrollar un lenguaje que se aleja del que poseen otros animales (Christiansen y Kirby, 2003, p. 301).

Dado que el lenguaje posee componentes biológicos para su adquisición y desarrollo, podemos inferir que es posible rastrear el origen del lenguaje siguiendo este rastro por medio de técnicas multidisciplinarias que nos aporta la antropología, la genética, la paleontología y otras disciplinas que tienen parte de sus estudios situados en la investigación de los orígenes del ser humano (Christiansen y Kirby, 2003, p. 302).

Enumerar todos los factores que dieron origen al lenguaje es una tarea de toda una vida. Incluso acotando este estudio al investigar únicamente factores biológicos –el cambio de posición en el *foramen magnum*, la disminución de la quijada, el consumo de carne cocida, etc.– es un campo demasiado amplio.

El estudio genético ayuda a resolver una pregunta filogenética importante: ¿es el lenguaje producto de la genética?

4.2.1. El gen FOXP2

FOXP2 es un gen ubicado en el brazo largo del cromosoma 7 (Chrusch y Gabora, 2014) el cual regula la expresión de otros genes que están asociados al desarrollo de funciones motoras. Es decir, no interviene directamente en la construcción de la estructura neural (Bickerton, 2007) por lo cual su relación con el lenguaje no es totalmente clara.

El gen en cuestión, denominado FOXP2, parece codificar un factor regulador que funciona como represor transcripcional en el sistema nervioso central, donde regularía la proliferación y/o la migración de poblaciones neuronales localizadas fundamentalmente en los ganglios basales, pero también en la corteza cerebral, el cerebelo y el tálamo. Dichas neuronas estarían implicadas presumiblemente en el desarrollo

y/o el funcionamiento de los circuitos corticotalamoestriatales asociados a la planificación motora y el aprendizaje. (Benítez-Burraco, 2008, p. 289)

FOXP2 pertenece a una amplia familia de factores de transcripción de hélice alada (Scharff y Haesler, 2005) –debido a su estructura proteica–. Esta familia se caracteriza por un dominio de unión al ADN altamente conservado –«Forkhead box» o FOX– en cual fue identificado por primera vez en la mosca de la fruta –*Drosófila*–. La razón de que se haya nombrado como «Forkhead» era por una serie de protuberancias en forma de tenedor en la cabeza de esta mosca que tenía mutaciones en esta familia de factores (Marcus y Fisher, 2003).

El dominio FOX se une a distintas secuencias en la región promotora de un grupo específico de genes regulando su transcripción –la del grupo específico de genes– (Scharff y Haesler, 2005). Las mutaciones en los genes del dominio FOX dan pie a varios desórdenes en el desarrollo como glaucoma, fallo de los ovarios, linfedema y desarrollo de enfermedades autoinmunes (Marcus y Fisher, 2003).

FOXP2 no es exclusivo de los humanos (Scharff y Haesler, 2005) y es posible encontrarlo en cocodrilos, mosca *Drosófila* y prácticamente cualquier mamífero existente. Sus funciones se han asociado a la lateralización del cerebro y las funciones del lenguaje asociadas al área de Broca (Corballis, 2004).

FOXP2 no es únicamente humano, sino que existe en muchas y muy variadas especies, tanto mamíferas como no mamíferas (por ejemplo, aves). En todas ellas, este gen se expresa, en lo que respecta al cerebro, en las mismas áreas básicas que en la especie humana: núcleos basales, cerebelo, tálamo y córtex o regiones equivalentes (palio) en especies no mamíferas. (Martínez Longa, 2006, p. 194)

Las primeras evidencias asociadas a la relación entre FOXP2 y el lenguaje fueron con los estudios de la *familia KE* (Bickerton, 2007).

Los miembros de esta familia sufrían de «Trastorno específico del lenguaje»; dieciséis de los miembros de esta familia estaban afectados con este trastorno el cual se heredó en tres generaciones (Martínez Longa, 2006).

Este rasgo fenotípico se debía a una mutación en un exon del gen de FOXP2 lo cual daba pie a la presencia de deficiencias en el lenguaje de los individuos afectados. Según Benítez-Burraco (2008):

En el caso de los individuos afectados pertenecientes a la familia KE se sabía que la mutación puntual que presentan –una conversión $G \rightarrow A$ en el exón 14 que da lugar al reemplazo de una arginina (Arg553) crítica para la unión a la secuencia diana del ADN por una

histidina no funcional– provocaba una disminución de la carga electrostática superficial de la tercera α -hélice del motivo FOX y, presumiblemente, una alteración de los determinantes necesarios para la correcta interacción entre el ADN y el factor transcripcional. (Benítez-Burraco, 2008, p. 290)

Martínez Longa (2006) clasifica a los miembros de la familia KE afectados por esta mutación en tres grupos.

Los primeros no tenían control orofacial y tenían dificultades en la articulación. El segundo grupo poseía problemas sintácticos ya que reconocían y podían producir plurales pero no lograban identificar morfológicamente los infijos de plural ni tenían reglas para formarlos: debían aprender cada plural como una palabra nueva. Este grupo también poseía problemas de concordancia entre palabras y en la flexión verbal pero no tenían problemas en la identificación semántica ni con la pragmática. (Martínez Longa, 2006)

El tercer grupo poseía problemas para procesar estructuras sintácticas complejas, no podían reconocer palabras pertenecientes al léxico de las agramaticales. También tenían problemas de comprensión de lectura y escritura. (Martínez Longa, 2006)

Existen otros estudios más recientes en animales que demuestran cierta relación de FOXP2 con el lenguaje.

Un equipo de investigación del instituto Max Planck logró, mediante una técnica conocida como «knockout de genes» (Haesler y cols., 2007) –«gene knockout», una técnica que reduce la expresión de uno o más genes– bloquear la producción de FOXP2 en embriones de pinzón cebra. Al crecer, ninguno de los pinzones podía imitar el canto del resto de su comunidad (Cevallos, 2010).

El canto de los pinzones cebra adultos consiste en diferentes elementos de sonido –llamados «sílabas»–, separados de intervalos de silencios. Estas «sílabas» se presentan en un orden secuencial estereotipado, lo que constituye un *motivo*. Durante una sesión de canto, un número variable de motivos son cantados en una corta sucesión. [...] Las características típicas de FOXP2 de pinzones «alumnos» con *knockdown* incluyen omisiones de sílabas, copiado impreciso de la duración de las sílabas y la imitación inexacta de características del espectro auditivo. Además, en cuatro de los siete «alumnos» con *knockdown*, el motivo en el canto contenía repeticiones de sílabas individuales o pares de sílabas. En contraste, ninguno de los motivos del grupo de control o los pinzones «tutores» contenían sílabas repetidas. Los «alumnos» no invertían el orden secuencial de sílabas en los mo-

tivos de los «tutores», a excepción de uno del grupo de control y otro «alumno» con *knockdown* de FOXP2. (Haesler y cols., 2007, p. e321) ¹⁴

Constance Scharff, quien participó en la investigación de Haesler, había hecho un experimento previo en ratones (Scharff y Haesler, 2005) en el cual descubrió que los chillidos ultrasónicos de estos animales estaban alterados a pesar de que sus áreas motoras no estaban afectadas. El grupo de ratones knockout del gen FOXP2 tenía ciertas similitudes con las observaciones en los miembros de la familia KE.

Los cachorros cuyo homocigoto se le realizó FOXP2 knockout tienden a vocalizar menos en el rango sónico de heterocigotos y animales de tipo salvaje cuando se separan de sus madres. En la gama de ultrasonidos los animales, tanto homo y heterocigotos, producen menos silbidos. Curiosamente, la estructura acústica de las vocalizaciones se conserva en los cachorros FOXP2 con KO, lo que indica que las áreas motoras que controlan las características acústicas de la producción sonora están intactas. La comunicación por ultrasonido en adultos homocigotos no se pudo probar porque mueren demasiado pronto. Debido a que FOXP2 está implicado en la diferenciación celular del pulmón en desarrollo, la función neumática podría estar comprometida en los ratones con knockout, lo que podría afectar vocalizaciones(Scharff y Haesler, 2005, p. 699)¹⁵

En un experimento posterior llevado a cabo por Wolfgang Enard y Svante Pääbo cambiaron los genes FOXP2 por versiones humanas.

¹⁴«Adult zebra finch song consists of different sound elements, here called syllables, that are separated by silent intervals. Syllables are rendered in a stereotyped sequential order, constituting a motif. During a song bout, a variable number of motifs are sung in short succession. [...] Typical features of FOXP2 knockdown pupils included syllable omissions, imprecise copying of syllable duration, and inaccurate imitation of spectral characteristics. In addition, in four out of seven knockdown pupils, the motif contained repetitions of individual syllables or syllable pairs. In contrast, none of the control or tutor motifs contained repeated syllables. Pupils did not reverse the sequential order of syllables in the tutor motifs, except for one control and one FOXP2 knockdown pupil.» *La traducción es mía.*

¹⁵«Homozygous FOXP2 knockout pups vocalize less in the sonic range than heterozygote and wild type animals when separated from their mothers. In the ultrasonic range, both homo- and heterozygote knockout animals utter fewer whistles. Interestingly, the acoustic structure of the vocalizations is preserved in FOXP2 KO pups, indicating that the motor areas controlling acoustic features of sound production are intact. Ultrasound communication in adult homozygotes could not be tested because they die too early. Because FOXP2 is implicated in cellular differentiation of the developing lung, pneumatic function might be compromised in the knockout mice, which could affect vocalizations.» *La traducción es mía.*

Quizá el experimento más interesante fue el que recientemente reportó, en la influyente revista *Cell*, un grupo de investigadores alemanes encabezados por Wolfgang Enard y Svante Pääbo del Instituto Max Planck de Antropología Evolutiva. Ellos construyeron una línea de ratones en la cual se sustituyó la versión murina (de ratón) del FOXP2 por la versión humana de dicho gen, con resultados sorprendentes: en primer lugar, los ratones no tuvieron ningún problema de salud, fueron fértiles y tan longevos como los ratones silvestres. Sin embargo, fueron menos proclives a explorar nuevos territorios que sus congéneres silvestres. Los ratones con FOXP2 humanizados desarrollaron un cerebro con núcleos basales compuestos por neuronas con proyecciones más largas (dendritas) y con una mayor capacidad de modular sus conexiones con otras neuronas (plasticidad sináptica): gracias a esos cambios mejoraron los circuitos de esta región de su cerebro. Una de las observaciones más intrigantes que se hicieron en estos ratones fue que los patrones de vocalización ultrasónica cambiaron radicalmente. (Cevallos, 2010, p. 13)

4.2.2. ¿Es FOXP2 el «gen del lenguaje»?

En el siglo XX se dio un debate singular entre la perspectiva genética y la ambientalista en cuanto a la adquisición del lenguaje.

El doctor Julio Sanjuán y cols. (2010) hace un recuento de este debate. Por un lado, Skinner defendía la tesis de que el lenguaje era adquirido por medio del aprendizaje. Es decir, el sistema lingüístico de los seres humanos se adquiría por medio estímulos conductuales los cuales están dados por el ambiente en el que cada niño se encuentra inmerso en los primeros años de vida. En este sentido, Skinner considera –a la manera de John Locke– la mente como una «tabula rasa», completamente vacía al nacimiento– la cual va absorbiendo el sistema lingüístico del entorno –ya sea de sus padres o de los adultos con los que conviva en los primeros años de vida–.

En el otro extremo de esta discusión está Noam Chomsky. Él indica que, dada la complejidad del sistema lingüístico, podría existir un tipo de «mecanismo cognitivo» para que los bebés puedan aprender y aprehender la gramática de su lengua aun cuando no pueden realizar o pensar la mayor parte de las cosas que un ser humano adulto. Para Chomsky, los humanos podrían poseer una capacidad innata para el lenguaje y la cual debería subyacer en mecanismos mentales dados por la biología humana.

Hoy día nadie cuestiona que los seres humanos nacemos con una potencial facultad para adquirir el lenguaje. También es del todo re-

conocido que, para que se desarrolle esta facultad, son necesarios los estímulos del entorno. Pero mas allá de este marco de acuerdo general de la necesaria confluencia entre lo genético y lo ambiental, existen numerosos interrogantes todavía sin resolver [...] (Sanjuán y cols., 2010, p. S101)

Es decir, ambas tesis mantienen cierto equilibrio: el lenguaje se adquiere debido a esos dos factores. En la adquisición del lenguaje «no enfrenta instinto y aprendizaje, sino que considera que ambos aspectos son complementarios» (Martínez Longa, 2006, p. 171). Sin embargo, no conocemos a ciencia cierta cuál es el mecanismo que permite que el lenguaje se instale en el cerebro.

Actualmente a FOXP2 se le llama «el gen del lenguaje». Sin embargo, sólo poseemos evidencia de que opera indirectamente en la conformación de la estructura neural (Chrusch y Gabora, 2014). Courtney Chrusch y Gabora (2014) explican que FOXP2 interviene en el control motor del aparato fonador y en ciertos procesos de aprendizaje. Aún así, no parece operar en el comportamiento que permite el lenguaje. Además, sus funciones no parecen estar restringidas al lenguaje únicamente.

Sin embargo, desde el principio se cuestionó si estaba implicado en el lenguaje ya que, como un gen de transcripción, sólo tiene un efecto indirecto sobre la estructura o el comportamiento neuronal (Bickerton, 2007; Reimers-Kipping et al., 2011). Por otra parte, aunque FOXP2 está involucrado en el control motor y el aprendizaje, hay indicios de que tiene un papel en otras habilidades que no implican el lenguaje [...] Se concluyó que la base neurológica de los déficits asociados con FOXP2 subyacen en anomalías estructurales y funcionales de los circuitos cortico-estriatales y cortico-cerebelosos del cerebro, los cuales son importantes para el aprendizaje, la memoria y el control motor, no para el lenguaje exclusivamente. (Chrusch y Gabora, 2014, p. 499) ¹⁶

Gary F. Marcus y Fisher (2003) mencionan que, aunque FOXP2 está relacionado con la adquisición del lenguaje, también interviene en buena medida en el desarrollo embrionario de pulmones, corazón y corteza cerebral. Marcus y Fisher (2003)

¹⁶«However, from the start there was question concerning its involvement in language because as a transcription gene it only has an indirect effect on neural structure or behavior (Bickerton, 2007; Reimers-Kipping et al., 2011). Moreover, although FOXP2 is involved in motor control and learning, there are indications that it has a role in other abilities that do not involve language [...] It was concluded that the neurological basis of deficits associated with FOXP2 lie in the structural and functional abnormalities of cortico-striatal and cortico-cerebellar circuitries of the brain, which are important for learning, memory, and motor control, not language exclusively.» *La traducción es mía.*

refieren que es normal que un gen y sus factores de transcripción tengan diferentes funciones y cambien cuando el organismo crece.

Los trastornos de lenguaje de la familia KE se manifestaron por la mutación de FOXP2. Sin embargo, ésta únicamente se dio en una de las dos copias de dicho gen que posee nuestro genoma. «Esta dosis probablemente era suficiente para el desarrollo de los pulmones, vísceras y corazón; pero insuficiente para el cerebro» (Marcus y Fisher, 2003, p. 261).

Por lo tanto, Marcus y Fisher (2003) afirma *que no se puede considerar a FOXP2 como «el gen del lenguaje»*:

FOXP2 no puede ser llamado "el gen del habla" o "el gen del lenguaje". Es sólo un elemento de una vía compleja que implica múltiples genes, y es demasiado pronto para decir si su papel dentro de esa vía es especial. Por otra parte, FOXP2 parece ser normal en las formas comunes de trastorno del lenguaje de desarrollo, y estos raramente implican los tipos de déficit oromotor como se observó en la familia KE. No obstante, el gen puede proporcionar un valioso punto de entrada en la vía neural relevante (o vías), señalando los objetivos subyacentes que regula o las proteínas con las que interactúa. Es probable que el habla y el lenguaje sean productos de mecanismos que se comparten con otros dominios neuronales y aquellos que no lo son. (Marcus y Fisher, 2003, p. 6) ¹⁷

Esto tiene una razón muy clara: los genes codifican para proteínas pero no para principios funcionales -fisiológicos y cognitivos- (Martínez Longa, 2006).

Ya que la relación entre gen y rasgo es muy indirecta y difícil de rastrear, se puede decir que FOXP2 es un factor para el desarrollo del lenguaje, pero no su causa.

[...] el entusiasmo ante el hallazgo "should be tempered with caution", porque el vacío explicativo existente entre mutación y fenotipo es mucho más amplio en genética cognitiva que en cualquier otra área de la biología. En otras palabras, aunque en la familia KE se descubrió una correlación exacta entre la versión defectuosa del gen (nivel

¹⁷«FOXP2 cannot be called 'the gene for speech' or 'the gene for language'. It is just one element of a complex pathway involving multiple genes, and it is too early to tell whether its role within that pathway is special. Furthermore, FOXP2 appears to be normal in common forms of developmental language disorder, and these seldom involve the kinds of oromotor deficits observed in the KE family. Nonetheless, the gene can provide a valuable entry-point into the relevant neural pathway (or pathways), by pointing to the downstream targets which it regulates or the proteins with which it interacts. Speech and language are likely to be products of mechanisms that are shared with other neural domains and those that are not.» La traducción es mía.

del genotipo) y los trastornos lingüísticos (motores, gramaticales, y de otros tipos) de los individuos afectados (nivel del fenotipo), a partir de tal correlación no se puede extraer una relación directa entre gen y carácter, esto es, entre la versión normal, no mutada, del gen, y el lenguaje. Y las razones para ello van mucho más allá de la obviedad consistente en que los genes únicamente codifican proteínas, pero no pueden recoger ningún tipo de principio funcional. (Martínez Longa, 2006, p. 183)

4.2.3. FOXP2 y el lenguaje como herencia

La cuestión acerca del lenguaje como herencia de generación en generación nos lleva, inevitablemente, a centrarnos en la cuestión sobre «el origen del lenguaje». Si el lenguaje nos ha acompañado como una característica de nuestra especie desde el inicio de nuestro tiempo, ¿dónde surgió?, ¿por qué se desarrolló?

La discusión acerca del origen del lenguaje no es nueva. Se puede rastrear desde el rey egipcio Psamético del siglo VII a.C. hasta los trabajos de Friedrich Max Müller en el siglo XIX de nuestra era, pasando por Rosseau, los presocráticos, Platón, Dante y otros (Dortier, 2013).

El interés moderno hacia el origen del lenguaje inicia justo con Darwin quien en «El origen de las especies» ya marcaba un notable interés hacia el descubrimiento de cómo había sido el desarrollo del lenguaje en los homínidos (Christiansen y Kirby, 2003). Sin embargo, hubo un notable retraso en los estudios filogeéticos del lenguaje cuando la Sociedad Lingüística de París prohibió en sus estatutos los estudios de este tema considerándolos tabú (Christiansen y Kirby, 2003; Dortier, 2013). Las investigaciones no volverían a realizarse hasta 1980 con los estudios de Philip Lieberman acerca la evolución del aparato fonador (Dortier, 2013).

El origen del lenguaje es, y probablemente seguirá siendo, un misterio. Existen ciertos consensos y ciertas discrepancias en cuanto a la búsqueda del origen del lenguaje.

Christiansen y Kirby (2003) en «Language evolution: consensus and controversies» hacen un listado de tres puntos en los cuales las investigaciones han llegado a un acuerdo:

1. El estudio del lenguaje es multidisciplinario: no existe posibilidad alguna de que la lingüística, la antropología, la genética u otras disciplinas asociadas a este problema logren avances si no argumentan sus hallazgos entre ellas (Christiansen y Kirby, 2003, p. 300).

2. Se requiere crear modelos computacionales que simulen, evalúen y ejemplifiquen cómo es que los hallazgos se interrelacionan (Christiansen y Kirby, 2003, p. 300-301).
3. En el origen del lenguaje, requerimos saber a que nos referimos con «lenguaje»: la mayor parte de los expertos, según Christiansen, han llegado a la conclusión de que la única manera de llegar a un «lenguaje primitivo» es por medio de la investigación de preadaptaciones de ese lenguaje (Christiansen y Kirby, 2003, p. 301).

Para esta tesis, es especialmente interesante el punto número 2. ya que indica que los modelos computacionales son relevantes para el estudio evolutivo del lenguaje.

Otra área emergente de consenso es el interés creciente en el uso del modelado computacional para explorar cuestiones relevantes para comprender el origen y la evolución del lenguaje. Muchos investigadores de diversas disciplinas ahora realizan simulaciones de evolución del lenguaje o se refieren a ese trabajo como evidencia de perspectivas teóricas particulares.

[...]

Los modelos son útiles porque permiten a los investigadores probar teorías particulares sobre los mecanismos subyacentes a la evolución del lenguaje. Dado el número de diferentes factores que pueden influir potencialmente en la evolución del lenguaje, nuestras intuiciones acerca de sus interacciones complejas son a menudo limitadas. Es precisamente en estas circunstancias, cuando los múltiples procesos tienen que ser considerados en conjunto, que el modelado se convierte en una herramienta útil –e incluso necesaria–.

[...]

El modelado computacional, por lo tanto, proporciona una poderosa herramienta nueva para el estudio de la evolución del lenguaje. Sin embargo, no puede sostenerse por sí misma. Debe de tomarse junto a consideraciones teóricas, modelización matemática, experimentación y recopilación de datos (por ejemplo, lingüísticos, arqueológicos, etc.). Por ejemplo, algunos modelos computacionales pueden eventualmente conducir a modelos matemáticos, o viceversa. Los modelos computacionales pueden sugerir nuevos experimentos psicológicos y así sucesivamente. Consideramos que es probable que el interés por el modelado computacional aumente aún más, especialmente a medida que se vuelva más sofisticado en términos tanto de mecanismos

psicológicos como de complejidad lingüística. (Christiansen y Kirby, 2003, p. 300-301)¹⁸

Evidentemente el modelo que propongo no es para estudiar la evolución, pero podría servir para ello dado que se sustenta en varias disciplinas y en el programa minimalista.

En cuanto a las preadaptaciones, Christiansen y Kirby (2003) indican que hay que considerar evolutivamente la capacidad de crear símbolos, la vinculación de sonidos arbitrariamente a referentes, cambios cognitivos en la memoria y el aprendizaje, la formación de sociedades y otros.

Como ocurre en todas las ciencias, no todo son acuerdos. Christiansen y Kirby (2003) indican que hay dos grandes discrepancias en las investigaciones del origen del lenguaje:

- La perspectiva de el innatismo contra la evolución cultural y
- la controversia del origen de lenguaje fónico o de señas.

Para ambas controversias, Christiansen y Kirby (2003) determinan que los datos que pueda arrojar el estudio de FOXP2 son significativos. Tanto que la controversia entre el protolenguaje fónico contra el de señas comienza a inclinarse hacia el hecho de que el primer lenguaje pudo haber estado basado en sonidos:

... los datos recopilados sobre el recientemente descubierto gen FOXP2 se ha citado en apoyo a teorías muy diferentes en cuanto a la evolución del lenguaje, las cuales están en un amplio rango desde una perspectiva «basada en el gesto» a una perspectiva «basada en el habla»; desde recuentos que implican grandes dotaciones de

¹⁸«Another emergent area of consensus is the growing interest in using computational modeling to explore issues relevant for understanding the origin and evolution of language (see Box 2). Many researchers across a variety of different disciplines now either conduct language evolution simulations or refer to such work as evidence for particular theoretical perspectives. [...] Models are useful because they allow researchers to test particular theories about the mechanisms underlying the evolution of language. Given the number of different factors that may potentially influence language evolution, our intuitions about their complex interactions are often limited (see Box 1). It is exactly in these circumstances, when multiple processes have to be considered together, that modeling becomes a useful – and perhaps even necessary – tool [...] Computational modeling thus provides a powerful new tool for the study of language evolution. However, it cannot stand on its own. It must take its place alongside theoretical considerations, mathematical modeling, experimentation, and data collection (e.g. linguistic, archaeological, etc.). For example, some computational models may eventually lead to mathematical models [16], or viceversa [20]. Computational models may suggest novel psychological experiments [21] and so on. We envisage that the interest in computational modeling is likely to increase further, especially as it becomes more sophisticated in terms of both psychological mechanisms and linguistic complexity.» *La traducción es mía.*

conocimiento lingüístico innato a recuentos que evitan hablar de tal conocimiento innato. No obstante, parece haber un acuerdo en que los datos de FOXP2 sugieren una evolución tardía del habla. De esta manera, los datos genéticos pueden ser particularmente útiles para alimentar nuestra comprensión de la línea de tiempo para la evolución del lenguaje. (Christiansen y Kirby, 2003, p. 305)¹⁹

Bickerton (2007) por otra parte, lo que hace es elaborar una agenda para que los lingüistas se centren en el estudio multidisciplinario del origen del lenguaje. Él marca que existen algunos temas importantes que los lingüistas deben resolver primero:

1. ¿Cómo fue que las unidades simbólicas evolucionaron?;
2. ¿Cómo evolucionó la sintaxis?;
3. ¿Cuál fue la urgencia que desencadenó la creación del lenguaje?;
4. ¿El lenguaje inició de manera abrupta o gradual?;
5. ¿El lenguaje inició en un sólo lugar o en varios?

El presente trabajo se centra en el punto 2. de la agenda. El matiz es que no estoy rastreando la evolución de la sintaxis, solo estoy mostrando un modelo dentro de una teoría coherente en cuanto a este desarrollo evolutivo.

En cuanto al tema genético, Bickerton (2007) explica que hay dos puntos que especialmente se deben de estudiar para entender cómo surgió el lenguaje humano: las neuronas espejo y FOXP2:

Parte de la tentación de afirmar que FOXP2 está relacionado con el lenguaje radica en el hecho de que ha sufrido, por lo menos, dos cambios durante el período de la evolución humana. El segundo quizás se realizó tan poco como hace 1200000 años. Así FOXP2 puede llegar a tener algo que ver con las diferencias de los simios humanos, incluyendo el lenguaje. Pero hasta que sepamos exactamente qué otros genes enciende o apaga FOXP2, es prematuro reclamar cualquier función

¹⁹«...data regarding the recently discovered FOXP2 gene has been cited in support for very different theories of language evolution, ranging from a gesture-based perspective to a speech-based perspective, from accounts involving large endowments of innate linguistic knowledge to accounts eschewing such innate knowledge. Nonetheless, there seems to be agreement that the FOXP2 data suggests a late evolution of speech. In this way, the genetic data may be particularly useful in informing our understanding of the timeline for language evolution.» *La traducción es mía.*

específica de dicho gen. Simplemente no es científico tratarlo como la razón principal en el lenguaje (Bickerton, 2007, p. 524)²⁰

Bickerton (2007), además, indica que hay cuatro puntos en los que las investigaciones del origen del lenguaje han confluído y en las que podemos tener cierta certeza:

1. Los australopitecus no poseían un lenguaje;
2. Existió un protolenguaje, a pesar de que no podamos decir cómo era;
3. La aparición del protolenguaje se manifestó por una presión selectiva, posiblemente social;
4. Existe, definitivamente, una relación entre evolución de la cognición y el lenguaje.

Las diversas investigaciones que rastrean la relación de FOXP2 con el origen del lenguaje intentan ubicar ciertas diferencias en las manifestaciones del gen, las dataciones del desarrollo del área de Broca y la capacidad simbólica de los homínidos.

Se ha encontrado que sólo hay tres aminoácidos que distinguen a las versiones de la proteína de FOXP2 de los ratones a la de los seres humanos (Marcus y Fisher, 2003). La aparición de dos de esos nuevos aminoácidos sucedieron en la línea de los primates y, específicamente, en los homínidos. Al crear simulaciones de computadora, se ha notado que por lo menos uno de esos cambios fue relevante en el funcionamiento de FOXP2 y el desarrollo del lenguaje (Marcus y Fisher, 2003):

Las comparaciones de secuencias de proteínas humanas y de chimpancés en computadora indican que uno de estos cambios puede haber tenido consecuencias importantes para la función de FOXP2, alterando la forma en que está regulada por otras proteínas. De forma intrigante, los análisis matemáticos de la variabilidad dentro de las especies del locus genómico FOXP2 sugieren que éste ha sido un objetivo de selección relativamente reciente en la historia humana. Estos estudios concluyeron que el moderno FOXP2, el cual es específico para humanos, se fijó probablemente en la población humana en los últimos 200000 años. Esto concuerda con varias estimaciones arqueológicas

²⁰ «Part of the temptation for claiming FOXP2 as language-connected lies in the fact that it has undergone at least two changes during the period of human evolution, the second perhaps as recently as 1–200,000 years ago. Thus FOXP2 may indeed turn out to have something to do with human-ape differences, perhaps including language. But until we know exactly which other genes FOXP2 turns on or off, it is at best premature to claim any specific function, and simply unscientific to treat it as a major driving force in language.» *La traducción es mía*.

del momento de aparición del dominio del lenguaje hablado.(Marcus y Fisher, 2003, p. 261) ²¹

En la investigación «*The derived FOXP2 variant of modern humans was shared with Neandertals*» (Krause y cols., 2007) se demostró, al extraer ADN de restos neandertales, que ambos tipos humanos compartían la misma variante de FOXP2 y que tal cambio sugiere que ambas especies humanas lograron desarrollar un protolenguaje hace 200000 años:

Aunque FOXP2 está entre el 5 % de las proteínas más conservadas entre los mamíferos, dos sustituciones de aminoácidos se han fijado en el linaje humano desde nuestra separación de los chimpancés como antepasado común. [...] Las simulaciones coalescentes, utilizando datos de la diversidad humana existentes en la región alrededor del exón 7, sugirieron que reciente ocurrió un barrido selectivo el cual terminó en los últimos 200000 años. Tomados en conjunto, estos resultados son compatibles con la noción de que estas dos sustituciones de aminoácidos se asocian con la aparición de la capacidad de lenguaje completamente moderno. (Krause y cols., 2007, p. 1908)²²

Esto ha cambiado totalmente nuestra concepción acerca de los neandertales. Los estudios de FOXP2 sugieren que, de haber sobrevivido, los neandertales poseerían un lenguaje y, por ende, una cultura alternativa a la de los *homo sapiens*.

[...]Para sorpresa de todos, los genes FOXP2 de los neandertales tenían la misma secuencia del gen humano, lo cual significa, si tomamos en cuenta que el linaje Neandertal (*Homo neanderthalensis*) se separó del linaje humano (*Homo sapiens*) hace 500000 años, que la versión del FOXP2 que hoy poseemos nosotros, ya estaba presente antes de que el linaje de los humanos se separara del de los neandertales.

²¹«Computer-based comparisons of human and chimp protein sequences indicate that one of these changes may have had important consequences for FOXP2 function, by altering the way it is regulated by other proteins. Intriguingly, mathematical analyses of the within-species variability of the FOXP2 genomic locus suggest that FOXP2 has been a target of selection relatively recently in human history. These studies concluded that modern human-specific FOXP2 most likely became fixed in the human population within the last 200 000 years, consistent with several archaeological estimates of the time of emergence of proficient spoken language.» *La traducción es mía*.

²²«Although FOXP2 is among the 5 % most conserved proteins among mammals, two amino acid substitutions have fixed in the human lineage since our split from the chimpanzee common ancestor. [...] Coalescent simulations using extant human diversity data in the region around exon 7 suggested that a recent selective sweep occurred and ended within the last 200,000 years. Taken together, these results are compatible with the notion that these two amino acid substitutions are associated with the emergence of fully modern language ability.» *La traducción es mía*.

Por mucho que a algunos les cueste reconocerlo, hay evidencias más que claras de que los neandertales poseían cultura, producían herramientas e incluso creían en la existencia de un más allá, como lo muestran los cuidadosos enterramientos de los que ahora tenemos conocimiento. Estas observaciones podrían indicar que la aparición de la variante del FOXP2 humana-neandertal modificó de tal modo el cerebro, tanto el nuestro como el de los desaparecidos neandertales, que promovió la adquisición del complejo lenguaje que manejamos y de la enorme creatividad que nos caracteriza. (Cevallos, 2010, p. 14)

Gong, Shuai, y Wu (2013) apuntan que existen serias dificultades para que el estudio de FOXP2 arroje los datos que requerimos. En primer punto indica que el estudio de los desordenes de lenguaje genéticos requieren inmensas cantidades de datos de las cuales no existen más que los arrojados por los estudios sobre la familia KE. Además, nuestro desconocimiento en cuanto a la función de FOXP2 es una limitante de los estudios evolutivos ya que al ser un factor de regulación de otros genes, podemos estar confundiendo su relación con el lenguaje con la de regulación de otros genes que pueden tener mayor relación con el habla, como CNTNAP2:

«FOXP2 actúa principalmente como factor de transcripción, regulando la expresión de otros genes. Por ejemplo, ahora sabemos que FOXP2 puede regular negativamente (rechazar la expresión de) CNTNAP2 (otro gen localizado cerca de FOXP2 en el cromosoma 7 humano, loci 35 y 36), y las variantes de CNTNAP2 pueden causar una adquisición tardía del habla en los niños. (Gong y cols., 2013, p. 5)²³

Finalmente, indican que, dado que la relación entre el genoma humano y sus capacidades cognitivas es indirecta, es muy difícil dar a FOXP2 el papel de dilucidar por completo el origen del lenguaje. «Solo estudiando el rol de múltiples genes que operan a diferentes niveles en los órganos de los sistemas los estudios genéticos podrían dar cuenta de cómo es que el lenguaje funciona» (Gong y cols., 2013, p. 5)

¿Es posible determinar que el lenguaje inició con la mutación de FOXP2? Es aún muy dudoso y lleno de controversia. Sin embargo, podemos decir que FOXP2 abre la puerta a la genética para que ayude a la lingüística y la antropología para determinar cómo surgió una de las capacidades más humanas que conocemos: nuestro lenguaje.

²³«FOXP2 mainly acts as a transcription factor, regulating the expression of other genes. For example, we now know that FOXP2 can down regulate (turn down the expression of) CNTNAP2 (another gene located near FOXP2 in human chromosome 7, loci 35 and 36), and CNTNAP2 variants can cause a delayed speech acquisition in children.» *La traducción es mía.*

El gen FOXP2 proporciona un medio para fechar la evolución del cerebro humano y la aparición total de las capacidades humanas de habla. A pesar del alto grado de similitud, hay distinciones importantes entre el ratón, el chimpancé y las versiones humanas. El ratón y las versiones humanas están separados por tres mutaciones, el chimpancé y las versiones humanas por dos. Enard et al. (2002), con técnicas de genética molecular, estiman que la versión humana apareció muy recientemente, en algún momento de los últimos 100.000 años. En el marco temporal (Stringer 1998) esta aparición está asociada con la del de *H. Sapiens* anatómicamente moderno. (Lieberman y cols., 2007)²⁴

En el imaginario popular se cree que el término «evolución» significa «cambios genéticos para mejorar una especie». Es decir, se piensa que siempre que un organismo cambia o tiene una mutación es porque «carecía de una mejora» -similar a las ideas de Lamarck en cuanto a la evolución-. También se llega a pensar que es un proceso lineal en el que los organismos «nuevos» desarrollaron una característica que los hacía ser mejores.

El estudio del proceso de hominización ha cambiado la forma que tenemos de pensar en la evolución. La hominización de los primates en *homo sapiens* es una red compleja de procesos multifactoriales que dio como resultado al ser humano tal y como lo conocemos.

El proceso más complejo de todos los que intervinieron en el proceso de hominización fue la adquisición del lenguaje. Este desarrollo fue, posiblemente, el más importante de todos ya que logró aumentar la supervivencia de nuestra especie, la formación de sociedades, el aprendizaje, la comunicación de nuevas experiencias, la construcción de herramientas, las estrategias en la caza y muchos más.

En las investigaciones que revisé es evidente una cosa: hubo un cierto apuro o cierta «ansiedad» -para usar el término de George Devereux (1994)- por parte de los investigadores para dar a conocer que habían encontrado «el gen del lenguaje». Anunciar tal descubrimiento era la llave que se necesitaba para validar varias hipótesis que se encontraban en debate, además de cambiar la perspectiva del lenguaje de lo social a lo biológico.

El problema ha surgido al estudiarlo a fondo. Hasta el momento nadie ha podido determinar la relación directa entre FOXP2 y el lenguaje. Por técnicas de

²⁴«The FOXP2 gene provides a means to date the evolution of the human brain and the emergence of fully human speech capabilities. Despite the high degree of similarity, there are important distinctions between the mouse, chimpanzee, and human versions. The mouse and human versions are separated by three mutations, the chimpanzee and human versions by two. Enard et al. (2002), using the techniques of molecular genetics, estimate that the human form appeared fairly recently, sometime in the last 100,000 years—in the time frame (Stringer 1998) associated with the emergence of anatomically modern *H. Sapiens*.» La traducción es mía

manipulación genética hemos logrado saber que FOXP2 es uno de los muchos factores determinantes en la adquisición y el desarrollo del lenguaje humano. Sin embargo, no es el único ni el más importante. FOXP2 es, en sí, el inicio de las investigaciones y no el final.

A la luz de los nuevos descubrimientos ya nadie se atreve a llamarlo «el gen del lenguaje». FOXP2 es el inicio de una serie de múltiples investigaciones que buscarán el origen genético del lenguaje.

Sin embargo, el conocimiento actual que tenemos de FOXP2 ha servido con suficiencia para determinar cómo es que el lenguaje se desarrolló en los homínidos y cuándo apareció el protolenguaje.

Para el estudio filogenético del lenguaje, FOXP2 es una gran herramienta. Teniendo en cuenta el sentido Darwiniano de «evolución» en donde, por naturaleza y azar ocurren mutaciones en los individuos y algunas veces uno resulta mejor adaptado al medio, podemos determinar que el lenguaje fue determinante en la «supervivencia del más apto».

Genéticamente, el lenguaje nos permitió una mayor supervivencia en comparación con otros primates ya que nos permitía protegernos en sociedades y obtener alimento de manera más eficiente. Esto abre una serie de preguntas en cuanto a qué sucedió con los neandertales y cuál fue la razón de que desaparecieran como especie mientras nosotros prosperamos notablemente.

En definitiva, no hay evidencia sustancial que permita determinar que la versión humana de FOXP2 es aquello que nos hace tener un lenguaje, una gramática interna o una sintaxis. Sin embargo, FOXP2 sí interviene en algunos factores biológicos y fisiológicos necesarios para el lenguaje como son el desarrollo del área de Broca y el control del aparato fónico.

El rastreo genético de los orígenes del lenguaje ha arrojado datos interesantes. Sabemos que los neandertales compartían nuestra capacidad de lenguaje -y con ella la cognición y la cultura-. Hemos encontrado que el lenguaje humano se remonta, por lo menos, a 200000 años de antigüedad. También hemos encontrado que son pocas las diferencias biológicas que nos separan del resto de los animales, incluso en materia de lenguaje.

Los estudios genéticos de FOXP2 no son una solución contundente. Al contrario, son apenas el punto de partida de muchas investigaciones que arrojarán datos importantes a varias disciplinas, incluida la lingüística. De cierta manera, es un alivio que FOXP2 no nos haya dado todas las respuestas, ya que la búsqueda de la verdad es aquello que provoca el avance de las ciencias.

4.3. Reflexión sobre la genética del lenguaje

En este capítulo he visto dos líneas de investigación que han cobrado relevancia en los últimos años debido a las claves que nos pueden ofrecer sobre nuestro propio lenguaje. Por un lado, revisé algunos hechos en la investigación de la comunicación animal y cómo es que pueden estar relacionados con la comunicación humana. Por otro lado, algunas cuestiones sobre lenguaje y genética en donde sobresalen las investigaciones en cuanto a FOXP2 que, si bien no son concluyentes, han abierto nuevos caminos sobre la filogenia del lenguaje.

El cauce de ambas líneas de investigación converge en el origen del lenguaje humano en los inicios de nuestro tiempo. Lo que es evidente bajo estas investigaciones es que el lenguaje humano no pudo aparecer sin antecedentes.

Como hemos visto, un factor importante del que carecen los animales es el uso de sintaxis –incluso a un nivel básico–. La sintaxis, como está propuesto en esta tesis, es un factor de estudio importante para determinar cómo es que surgió el lenguaje en nuestra especie, como se desarrolló hasta el punto de permitir nuestro desarrollo como especie y cómo es que la comunicación animal se transformó, en algún punto, en nuestra lengua.

Como he señalado, en la naturaleza ya existen otros sistemas cognitivos que permiten asociar significado con significante como en el caso de los monos Vervet y las abejas, el cual es un sistema heredado de forma genética por lo que no necesita aprendizaje. También se ha visto que los animales tienen la posibilidad de crear una «proto-comunidad lingüística» como los macacos japoneses los cuales poseen gritos propios de su comunidad los cuales son aprendidos y crean una forma de «dialectos».

También, hemos visto que –aunque sea altamente controversial– animales como los loros o los gorilas tienen la posibilidad de retener signos –sonidos o señas asociadas a un significado» en cautiverio por medio del entrenamiento. Además, parece ser que en el medio natural poseen cantos o ruidos propios de su comunidad los cuales se retienen por memoria.

La tecnología y los descubrimientos actuales no nos pueden dar cuenta de dónde está el lenguaje dentro de un cerebro humano o cómo es que llegó allí. Vimos que FOXP2 no es una respuesta empírica válida ya que un gen codifica para una serie de proteínas y no para rasgos físicos evidentes. Además, no exploré otras opciones de investigación como la propuesta de que el lenguaje puede que tenga relación con las neuronas espejo. Aún así, podemos afirmar que, incluso a nivel genético, el lenguaje es multifactorial y no sabemos lo suficiente de él en nuestra época.

Dicho todo esto, podríamos especular libremente.

Imaginemos, por un momento, el primer o los primeros primates que comenzaron a formar oraciones –o una forma rudimentaria de ellas–. ¿Por qué?, ¿cómo fue? Los animales pueden asociar signos con referentes y, además, los primates poseen las estructuras neuronales capaces de retener símbolos.

La especulación va en el sentido de que pudo haber una mutación –o una serie de mutaciones– en el primer individuo que mostró la facultad del lenguaje y dichos cambios debieron darse en su estructura neuronal.

Entonces, imaginemos a ese primate que tenía un cambio a nivel neuronal que lo hacía diferente a los demás miembros de su especie. Un cambio que le permitía «pensar» de otra manera –ya que, como lo he asentado, el cambio en la sintaxis debió cambiar la cognición primero antes de que se manifestara como lenguaje humano–. Este primate poseía una capacidad única: *unir dos signos como un objeto sintáctico*.

Esto no puede parecer un gran desarrollo, pero si pensamos que ello permite unir dos signos para elaborar significados más complejos, que pueden complejizarse con la unión de más signos. Esto, en sí, sería el inicio de una revolución que, cuando se establecieran las primeras comunidades humanas, tendrían uno de sus grandes desarrollos: el lenguaje.

Ese cambio, esa mutación, al estar a nivel neurológico permitió a dicho primate –o primates– reproducirse ya que no había evidencia visual para los otros que de «algo había de malo con él». Esta mutación posiblemente lo hizo ser más apto para la supervivencia: podía crear planes para cazar o defenderse, conservar la memoria del grupo, hablar de alimentos que no estaban cerca de su comunidad. Básicamente podía *hablar de cosas que no estaban presentes*; tenía la habilidad de planear.

Al ser el más apto, se reprodujo con mayor facilidad lo que fue un factor determinante para el desarrollo de homo sapiens moderno.

Sin embargo, esto es, evidentemente, solo una posibilidad teórica –especulativa– como lo es la «Teoría del Big Bang» del cual no tenemos más que suposiciones teóricas dado que no podemos presenciar el hecho, sino solo analizar los «ecos» de dicho evento.

Lo importante de este capítulo es que se conserve la idea de una sintaxis que debe ser coherente con lo que sabemos actualmente de genética y neurología. Un cambio de esta naturaleza no puede ser una serie de reglas en la mente: debe poder heredarse. Debió ser un cambio pequeño y mínimo –que es uno de los axiomas del «Programa Minimalista»–. Este cambio mínimo, varias teorías lo discuten, fue la posibilidad de unir un símbolo con otro para crear una estructura binaria y, a su vez, poder unir otro símbolo a esa estructura binaria para crear una estructura compleja.

Sobre este cambio mínimo, sobre la sintaxis, hablaré en el siguiente capítulo.

El programa minimalista

Conocer los nombres es mi oficio. Mi arte. Para urdir la magia de una cosa, hay que descubrir su verdadero nombre. [...] Y todo acto de magia, toda hechicería, depende aún del conocimiento, reaprendido o recordado, de esa lengua antigua y verdadera de la Creación. Es preciso aprender los encantamientos, desde luego, como usar las palabras; y también hay que conocer las consecuencias. Pero a lo que un mago consagra su vida es a descubrir los nombres de las cosas, y a descubrir cómo descubrir los nombres de las cosas.

– Ursula K. Le Guin. «Las tumbas de Atuan».

Durante mi exposición, he estado mencionando a la sintaxis, al «generativismo» y al «programa minimalista» en varias ocasiones como elemento unificador entre temas tan dispares y de disciplinas que no se unen fácilmente.

Este último capítulo del marco teórico lo dedicaré a definir estos temas con mayor precisión. Incluso, considero que aquellos que no estén familiarizados con el análisis del nivel sintáctico de la lengua, con las ideas de Chomsky y el generativismo en general, encontrarán respuesta a varias cuestiones que ya he mencionado y la razón de que hayan sido incluidas.

Hasta este punto he abierto tres líneas de investigación como sustento metodológico:

- En el primer capítulo hablé sobre ciertas formalizaciones, teoría de autómatas, máquinas de Turing y cálculo lambda.

- En el segundo hablé sobre los diferentes tipos de inteligencia artificial que existen y algunos problemas filosóficos asociados a ésta.
- En el tercero hablé de comunicación animal y algunos avances de la genética en cuanto al lenguaje, en especial el papel de FOXP2

La inclusión de estos tres temas convergen en el tema de mi tesis. Recordemos que la pregunta de investigación es: *¿Es posible emular la operación sintáctica Merge en una máquina?, ¿es posible crear un conjunto diverso de oraciones con ella?*

Evidentemente, para resolverla debo explicar primero *qué es la operación Merge*. De ello trata el presente capítulo.

Sin embargo, creo que es pertinente en este punto hacer una serie de anotaciones acerca del modelo de sintaxis que pretendo elaborar. El modelo sintáctico computacional debe poseer tres características básicas:

1. Debe ser presentado en una forma algorítmica y formal. Dicha formalización debe de ser coherente con los postulados que revisé en el capítulo 1. Es decir, dado que es un programa de computadora, requiere estar en concordancia tanto con los mecanismos sintácticos mentales y con el punto 2 y 3.
2. Debe de replicar la forma en la que la sintaxis opera en la mente humana –como lo vi en el capítulo 2–. No se trata de un programa «de análisis» ni de un programa que busque «mayor eficiencia». Lo que se intenta es probar si es posible crear una simulación de sintaxis que esté acorde con el punto 1 y el 3.
3. Debe de ser una sintaxis mínima, lo más simple posible dado que, si es que se transmite de generación en generación, no puede ser de ninguna manera demasiado compleja. Y, además no debe contravenir los puntos 1 y 2.

Estos puntos, en realidad, se inscriben dentro del marco teórico que utilizo el cual se conoce como «el programa minimalista». Dicho marco no es otra cosa que la última versión que ha tomado el generativismo chomskiniano para explicar cómo es que los seres humanos adquieren su lengua materna. «El programa minimalista» también busca que sus propuestas sean coherentes con lo que sabemos actualmente en términos biológicos sobre el lenguaje y busca, además, ser más formal que otras versiones del generativismo.

¿Qué es el programa minimalista?, esa es la pregunta que responderé en este capítulo.

5.1. ¿Qué es la sintaxis?

Los estudios sintácticos son, posiblemente, los estudios lingüísticos más antiguos que existen. Esto es debido a que todo lo que conocemos como «gramática» se centra, en su mayoría, en el estudio de la sintaxis de una lengua. Es por ello que podemos rastrear los primeros estudios sintácticos hacia el siglo IV a. C. con Pāṇini y su obra «Aṣṭādhyāyī» la cual explicaba la gramática del sánscrito con cierto sentido místico.

Esto causa ciertos problemas en cuanto a la definición de sintaxis y la forma en la que se estudia. Prácticamente cada corriente histórica al interior de la lingüística ha propuesto una definición de sintaxis, aunque en el fondo sea evidente que se refieren al mismo objeto de estudio.

Para esta tesis, me ceñiré en la definición de sintaxis extraída del manual «Fundamentos de sintaxis formal» de Ignacio Bosque y Javier Gutiérrez-Rexach (2009, p. 11):

La sintaxis es la parte de la gramática que estudia la forma en que se combinan las palabras y los significados a los que dan lugar esas combinaciones.

La sintaxis es, entonces, la disciplina que se dedica al estudio de los objetos sintácticos, es decir, de las *combinaciones* de los componentes gramaticales. Remarco el término «combinaciones» ya que este es el punto central de la sintaxis: *cómo se combinan los elementos gramaticales para elaborar nuevas «formas»*.

[...] La sintaxis es una disciplina combinatoria, lo que significa que no tiene como objeto de estudio un conjunto limitado de elementos, una lista de formas lingüísticas, por larga que ésta sea. [...] La sintaxis es una disciplina combinatoria, en el sentido de que estudia formas de organizar unidades más básicas: las palabras, [...]

La sintaxis toma como unidad mínima de análisis la palabra. Estudia cómo se combinan las palabras para formar unidades superiores, y cómo a su vez dichas unidades superiores dan a unidades aún mayores. Normalmente se entiende que la unidad máxima del análisis sintáctico es la oración, Como en toda disciplina, los límites del análisis no son estrictos y pueden depender de diversos factores. [...] es posible establecer una sintaxis del discurso que estudia la forma en que las oraciones se combinan en unidades discursivas mayores; por tanto, podemos contraponer la sintaxis oracional, que tiene como límite superior la oración, a la sintaxis del discurso. Al ampliar los límites de la sintaxis, es probable que también debamos tener en cuenta nuevos

procedimientos combinatorios que no están presentes en la sintaxis oracional. De igual forma, el límite inferior tradicional de la sintaxis puede bajarse hasta ciertos componentes de las palabras que aportan información gramatical. [...] determinadas nociones gramaticales, como el tiempo o el aspecto, de las que ha de ocuparse la sintaxis, se pueden expresar mediante morfemas, es decir, mediante unidades inferiores a la palabra. Este tipo de consideraciones justifica que algunas teorías defiendan la necesidad de que la sintaxis se interne a veces en el territorio tradicional de la morfología. (Bosque y Gutiérrez-Rexach, 2009, p. 12)

Decir que el lenguaje es imposible de estudiar debido a su complejidad es una respuesta poco satisfactoria. Debemos tener ciertos puntos de partida, a pesar de que la realidad no corresponda con nuestra definición básica. Por ello, podemos partir de una definición –casi irreal– de la sintaxis como: *el método de conocimiento que estudia el nivel de análisis lingüístico que determina cómo es que las palabras se combinan para formar oraciones.*

Este tipo de definiciones nos puede llevar a serios problemas: ¿qué es una palabra?, ¿qué es una oración? Veamos un ejemplo para ello.

- (5.1) a. Me lo regala.
b. Regálamelo.

Es este ejemplo, podemos abrir un debate trascendente: ¿cuántas palabras hay en a. y cuantas en b.?, ¿Tanto a. o b. son oraciones? Es decir, tendríamos que determinar si los clíticos son palabras o no, y por qué –bajo nuestra definición de palabra– lo son o no. También tendríamos que determinar si estos ejemplos, que poseen sujeto, verbo, objeto directo e indirecto, son o no oraciones.

Aún así, la sintaxis es la disciplina que se dedica a determinar cómo es que en entre estos pares de oraciones:

- (5.2) a. Mi hermano menor toca el ukulele que le regalaron.
b. * Ukulele menor el toca hermano le mi regalaron.
c. Carmen come un pastelillo de queso filadelfia.
d. * Queso un de Carmen pastelillo filadelfia come.

un hablante nativo del español –como nosotros– consideraríamos que a. y c. están «bien formadas», que «pertenecen al español», que «se entienden»; mientras que b. y d. «son un revoltijo», «tal vez fueron realizadas por alguien que no sabe español» o que «no se entienden».

¿Por qué?, ¿cómo es que distinguimos de una oración bien formada de la que no lo está? Y, especialmente, ¿qué mecanismos mentales permiten saber esto? Este tipo de preguntas comienzan a exceder el terreno del lenguaje para ser un tema de discusión de la filosofía, la psicología, la neurología y las ciencias de la computación –entre otras–. Es por ello, que algunas personas incluyen al lenguaje –y especialmente a la sintaxis– dentro de la ciencia cognitiva.

En «*Syntax: A generative introduction*» de Andrew Carnie (2013, p. 5), explica que:

La «ciencia cognitiva» es un término que engloba a todo un grupo de disciplinas que poseen el mismo objetivo: describir y explicar la capacidad del ser humano para pensar (o, para ser más precisos, el pensar en conceptos abstractos como las partículas subatómicas, la posibilidad de vida en otros planetas; incluso cuántos ángeles caben en la cabeza de un alfiler, etcétera). Algo que nos distingue de otros animales, incluso de aquellos que son relativamente inteligentes como los chimpancés y los elefantes, es nuestra capacidad de utilizar un lenguaje combinatorio y productivo. El lenguaje juega un papel importante en la forma en la que podemos pensar acerca de nociones abstractas o, al menos, parece estar estructurado de tal manera que nos permite expresar dichas nociones abstractas. La disciplina de la lingüística es, por lo tanto, una de las subdisciplinas más importantes de la «ciencia cognitiva». Las oraciones son el medio por el cual conseguimos expresar nuestros procesos de pensamiento abstracto, por lo que el estudio de la sintaxis es una piedra angular importante para entender cómo es que nos comunicamos e interactuamos con los demás seres humanos.¹

Por lo tanto, la sintaxis no sólo se ocupa únicamente de «ver cómo se combinan las palabras». Es, como muchos otros niveles de análisis lingüístico, el único método que poseemos para poder acceder a la mente humana y su funcionamiento. La

¹Cognitive science is a cover term for a group of disciplines that all have the same goal: describing and explaining human beings' ability to think (or more particularly, to think about abstract notions like subatomic particles, the possibility of life on other planets or even how many angels can fit on the head of a pin, etc.). One thing that distinguishes us from other animals, even relatively smart ones like chimps and elephants, is our ability to use productive, combinatorial Language. Language plays an important role in how we think about abstract notions, or, at the very least, Language appears to be structured in such a way that it allows us to express abstract notions. The discipline of linguistics is thus one of the important subdisciplines of cognitive science. Sentences are how we get at expressing abstract thought processes, so the study of syntax is an important foundation stone for understanding how we communicate and interact with each other as humans.» *La traducción es mía.*

relevancia de los estudios sintácticos no radica únicamente en la combinación de las palabras y la explicación de las formas y sus funciones sino que es uno de los caminos que puede llevarnos al entendimiento de nosotros mismos como especie humana.

Una vez que hemos ubicado al nivel de análisis sintáctico y su relevancia, podemos determinar cómo es que se desarrolla su actuación al interior del sistema lingüístico. Para ello, podríamos decir que la sintaxis, en realidad, subyace entre el significante y el significado –para usar los términos clásicos saussureanos–. La sintaxis sería aquello que está entre la fonología –la realidad física del lenguaje– y la semántica –la realidad psicológica del lenguaje–.

La sintaxis estudia el nivel del lenguaje que se encuentra entre las palabras y el significado de las expresiones: las oraciones. Es el nivel que media entre los sonidos que alguien produce (organizados en palabras) y lo que pretenden decir. [...] [Su importancia radica en] la cuestión de cómo, inconscientemente, obtenemos significados a partir de los sonidos y las palabras. Este es el estudio de la sintaxis. (Carnie, 2013, p. 4)²

Si la sintaxis se dedica a la combinación gramatical de los elementos lingüísticos, *¿existe sintaxis a otros niveles aparte del oracional?* Es decir, hemos tomado, de manera arbitraria, que la sintaxis se debe dedicar a las oraciones como elemento mínimo. Esto ha suscitado algunos debates en cuanto a la división de los niveles de análisis. Algunos lingüistas consideran que todo nivel de análisis debe dar explicaciones «dentro de sus fronteras» sin utilizar conceptos o elementos de otros niveles. Otros han admitido que muchos fenómenos no pueden explicarse dentro de un sólo nivel y es necesario recurrir a las «fronteras» –bastante difusas– entre ellos.

¿Hay sintaxis a nivel de sonido?, ¿al nivel de palabra?, ¿a nivel de discurso? Existen estudios que se han dedicado a determinar la combinatoria de elementos en objetos de estudio diferentes a los oracionales.

²«Syntax studies the level of Language that lies between words and the meaning of utterances: sentences. It is the level that mediates between sounds that someone produces (organized into words) and what they intend to say. Perhaps one of the truly amazing aspects of the study of Language is not the origins of the word demerit, or how to properly punctuate a quote inside parentheses, or how kids have, like, destroyed the English language, eh? Instead it's the question of how we subconsciously get from sounds and words to meaning. This is the study of syntax.» *La traducción es mía*.

5.2. Gramática generativa

Es casi imposible desligar la figura de Noam Chomsky al hablar de «gramática generativa». Las ideas propuestas por él, que ahora se conocen como «generativismo» en lingüística, surgieron mientras investigaba nuevas formas de traducción automática e IA en el MIT –con fondos de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, quienes dirigían las investigaciones debido al gran interés que tenían en ellas–. Carnie (2013, p. 7) nos da un perfil rápido de la figura de Chomsky:

Avram Noam Chomsky nació el 7 de diciembre de 1928, en Filadelfia. Su padre era un gramático hebreo y su madre maestra. Chomsky obtuvo su Ph.D. de la Universidad de Pennsylvania, donde estudió lingüística bajo la tutela de Zellig Harris. Tomó una posición en traducción automática y enseñanza de idiomas en el Instituto de Tecnología de Massachusetts. Con el tiempo sus ideas acerca de la estructura del lenguaje transformaron el campo de la lingüística. Denostado por unos y admirado por otros, las ideas de Chomsky han cambiado las bases de la disciplina de la lingüística y han sido muy influyentes en áreas como las ciencias de la computación y la filosofía. Fuera de la lingüística, Chomsky es también uno de los principales intelectuales en el movimiento socialista anarquista. Sus críticas hacia los medios de comunicación y la injusticia política son ampliamente leídos. Chomsky es uno de los autores más citados en el mundo (se encuentra entre los diez más citados de toda la humanidad; es el único aún vivo de esta lista).³

Las primeras investigaciones de Chomsky darían pie a lo que se conocería como «teoría estandar» y serviría, entre otras cosas, para la clasificación de los lenguajes en una escala de «formalidad» –llamada «jerarquía de Chomsky»–. Sin embargo, las conclusiones de estas primeras investigaciones serían que los lenguajes naturales, aunque parecían seguir reglas básicas para la generación de estructuras sintácticamente «bien formadas», no era posible aprehenderlos de la misma

³«Avram Noam Chomsky was born on 7 December 1928, in Philadelphia. His father was a Hebrew grammarian and his mother a teacher. Chomsky got his Ph.D. from the University of Pennsylvania, where he studied linguistics under Zellig Harris. He took a position in machine translation and language teaching at the Massachusetts Institute of Technology. Eventually his ideas about the structure of language transformed the field of linguistics. Reviled by some and admired by others, Chomsky's ideas have laid the groundwork for the discipline of linguistics, and have been very influential in computer science and philosophy. Outside of linguistics, Chomsky is also one of the leading intellectuals in the anarchist socialist movement. His writings about the media and political injustice are also widely read. Chomsky is among the most quoted authors in the world (among the top ten and the only living person on the list).» *La traducción es mía*.

manera que se logra con los lenguajes formales –véase 2.3.1–. Esto resultaría, al final, en que el ejército de EU retiraría los fondos para sus investigaciones. Aún así, Chomsky consideró que había armado un aparato teórico lo suficientemente sólido para continuar investigándolo. Es por ello, que continuó su línea de investigación en lingüística por lo menos durante los años sesenta hasta los noventa donde comenzó a dedicarse a cuestiones políticas.

¿Cuál es la diferencia fundamental que aporta el generativismo como línea de investigación lingüística? Creo conveniente revisar algunos de sus postulados principales –aquellos que no han cambiado con el paso del tiempo y el cambio de teoría– de manera somera para entender en generativismo en general.

No revisaré todos sus postulados, sólo aquellos que sirven para la explicación de esta tesis. Ellos son tres: el estudio de la gramática mediante el método científico, el innatismo y la diferencia entre actuación y competencia.

5.2.1. La gramática como ciencia

Uno de los primeros postulados del generativismo y, posiblemente, el más controvertido y del que más se ha hablado es considerar a la lingüística como una ciencia. Hay que apuntar que no se está hablando de que sea «una ciencia social», sino una «ciencia» tal cual. Esto, como es evidente, plantea cuestiones que trascienden a la lingüística y se ubican en la filosofía de la ciencia: *¿qué es una ciencia?, ¿el comportamiento de una disciplina como una ciencia, la convierte en ciencia?, ¿hay forma de estudiar el lenguaje de forma científica?*

Para muchas personas, el estudio del lenguaje pertenece, propiamente, a las humanidades. Es decir, el estudio del lenguaje tiene que ver con la belleza de su uso en la «buena» literatura (y la no «tan buena»). Sin embargo, no hay ninguna razón en particular, aparte de nuestros prejuicios, por el cual el estudio del lenguaje deba estar confinado a un enfoque humanista. Es posible, en realidad, abordar el estudio del lenguaje desde una perspectiva científica; este es el dominio de la lingüística. Las personas que estudian literatura suelen acusar a los lingüistas de alejarse de la riqueza de la buena prosa y de oscurecer la belleza del lenguaje. Nada podría estar más lejos de la verdad. La mayoría de los lingüistas [...] disfrutan de la lectura de una pieza de ficción finamente trabajada; muchos lingüistas estudian a menudo, como complemento, los aspectos más humanistas del lenguaje. Esto no significa, sin embargo, que uno no pueda apreciar y estudiar las propiedades formales (o reglas) del lenguaje y hacerlo desde una perspectiva científica. Los dos enfoques para el estudio del

lenguaje simultáneamente válidos: se complementan el uno al otro; no son mutuamente excluyentes. (Carnie, 2013, p. 7)⁴

Esta propuesta del estudio del lenguaje como ciencia no inicia con el generativismo. La lingüística, a partir de el siglo XX con la propuesta de Saussure, se caracteriza por este enfoque ya que «se presenta la preocupación por realizar el estudio del lenguaje de manera más sistemática; así surge la inquietud y necesidad de darle el estatus de científica a la investigación lingüística que, en términos generales, se corresponde con un movimiento en este sentido, dentro de la filosofía de la ciencia» (Munguía Zatarain, 1995, p. 10). El cambio de la perspectiva científica del estructuralismo al generativismo es, en realidad, el cambio de un programa de investigación inductivo a uno deductivo.

Ahora bien, según una concepción más o menos moderna, todavía muy extendida en las ciencias humanas, el trabajo de la ciencia consistiría en observar objetivamente el mayor número posible de hechos y de datos, y en agrupar y clasificar estos hechos para extraer de ese conjunto cierta organización; de esta manera, el trabajo del lingüista vendría a consistir en observar un gran número de enunciados (orales o escritos), y agruparlos en diversos tipos, descomponerlos en diversas clases de elementos (como palabras, morfemas, fonemas, etc.) y clasificarlos en categorías distintas (como pudieran ser las partes de la oración, por ejemplo). Esta concepción de la ciencia, a la que se ha llamado «taxonómica» surge y se desarrolla durante la primera mitad del siglo XX [...] (Munguía Zatarain, 1995, p. 10)

Por lo tanto, la forma de proceder estructuralista es inductiva en cuanto a que «procede a partir de los datos y formula hipótesis o generalizaciones sobre las semejanzas que observa en ellos» (Bosque y Gutiérrez-Rexach, 2009, p. 56). Se analiza un corpus de datos lo suficientemente grande y de allí se deducen reglas

⁴«For many people, the study of language properly belongs in the humanities. That is, the study of language is all about the beauty of its usage in fine (and not so fine) literature. However, there is no particular reason, other than our biases, that the study of language should be confined to a humanistic approach. It is also possible to approach the study of language from a scientific perspective; this is the domain of linguistics. People who study literature often accuse linguists of abstracting away from the richness of good prose and obscuring the beauty of language. Nothing could be further from the truth. Most linguists, including the present author, enjoy nothing more than reading a finely crafted piece of fiction, and many linguists often study, as a sideline, the more humanistic aspects of language. This doesn't mean, however, that one can't appreciate and study the formal properties (or rules) of language and do it from a scientific perspective. The two approaches to language study are both valid; they complement each other; and neither takes away from the other.»
La traducción es mía.

particulares sobre ciertos fenómenos. Esto es más claro en la fonología de principios del XX, sobre todo con los trabajos de Jakobson y Trubetzkoi, donde el análisis se elaboraba a partir de lo que se podía deducir de los datos –el método de «pares mínimos» por ejemplo– y de allí se determinaba que fonos constituían los fonemas de una lengua.

A pesar de lo que se pueda pensar, el generativismo no desdeña esta forma de proceder. Al contrario: la continúa y la reafirma. Es decir, lo que se realiza es utilizar los mismo datos y las mismas líneas de investigación pero es el enfoque científico lo que se ha reelaborado. Es por ello que se habla de «cambio de paradigma» –en el sentido de Kuhn– a la aparición del generativismo chomskiano.

A veces se ha caracterizado a la lingüística chomskiana como un paradigma revolucionario. en términos de la teoría de Kuhn sobre la evolución de la ciencia. Chomsky, sin embargo, se muestra escéptico con respecto a los cambios de paradigma, incluso en las ciencias naturales, y por lo que se nos alcanza, nunca ha percibido el impacto de su obra de esta manera. Más bien suele insistir en que sus propuestas retoman y reformulan los postulados de la tradición racionalista del pensamiento occidental y en que sus trabajos sobre el lenguaje pueden y deben compaginarse con más investigaciones, como aquellas que se ocupan de las relaciones entre el lenguaje y la sociedad, o las que tratan de descubrir cómo están materializadas las capacidades lingüísticas en el cerebro.

Si, en lugar de la Teoría de los Paradigmas Científicos de Thomas S. Kuhn, tomamos como metodología los Programas de Investigación de Imre Lakatos, la interpretación de la obra de Chomsky es otra. Lakatos resalta la rivalidad prolongada entre grandes alternativas teóricas y no excluye ni la reaparición de ideas aparentemente superadas, ni la complementariedad entre teorías. Supongamos, entonces, con Piattelli-Palmarini (1979) que la lingüística chomskiana constituye un programa de investigación lakatosiano y que, como tal, gira alrededor de un «centro firme», se asienta sobre unos supuestos básicos (provisionalmente) irrefutables. (Gutiérrez y Soriano, 2004, p. 13-14)

El generativismo no intenta ser un «borrón y cuenta nueva», sino todo lo contrario. Es retomar teorías ya abandonadas y centrarlas en un programa científico. Es común encontrarnos con que Chomsky refiere a ideas de Pāṇini, de los gramáticos de Port Royal o de Wilhelm von Humboldt. La propuesta de Chomsky es una revisión de la lingüística bajo la óptica de un nuevo programa de investigación: la investigación hipotética-deductiva, la cual «prescinde del recurso de inferencias de base estadística y se basa en inferencias lógicas a partir de principios generales

que pueden ser formulados *a priori* en lugar de sobre la base de una generalización empírica» (Bosque y Gutiérrez-Rexach, 2009, p. 57). Para ello, se crean postulados que constituyen un «centro firme» –como indican Gutiérrez y Soriano– los cuales se encuentran sujetos a múltiples revisiones pero se toman como hechos *per se*.

La razón de este cambio es, en sí, el desarrollo de nuevas formas de estudiar la biología humana –como la neurología o la genética– y el comportamiento. Por otro lado, la propagación de la lingüística a otras ciencias humanas y su enriquecimiento –como la antropología, la psicología social y la sociología– ha logrado enriquecer la disciplina en el sentido de que es difícil englobar la comunicación humana solamente como un acto de codificación y decodificación entre un par de «cabezas parlantes»⁵.

También el cambio de perspectiva reside en el hecho de que se han descubierto más lenguas en el siglo XX de las que se podían suponer en siglos anteriores. La clasificación taxonómica, por lo tanto, comienza a ser insuficiente para explicar algunos fenómenos –aunque siga siendo altamente útil para otros fines–.

Es posible explicar este cambio al hacer una alegoría con dos disciplinas diferentes: la zoología o la geología y la física teórica. La lingüística tenía, al inicio del siglo XX la tendencia clasificatoria de la geología o la zoología: sólo se podía clasificar lo que se encontraba, pero no se podían hacer presuposiciones de lo que «puede pasar». Es decir, es imposible predecir un temblor o un nuevo animal –entraríamos en el campo de la «zoología fantástica»–.

Cuando los datos comienzan a ser demasiado amplios y diversos se propone el cambio a entender la lingüística igual que la física teórica: si estudiamos el comportamiento de «todos y cada uno de los objetos que caen» en el universo –es decir, estudiar la gravedad «taxonómicamente»– se volvería una tarea difícil, inútil y poco explicativa. Lo que hace la física teórica es crear una hipótesis que, una vez probada en varios fenómenos, puede convertirse en una ley universal. Por lo tanto, se crea una «ley universal de la gravedad» para poder predecir todos y cada uno de los fenómenos donde «un objeto cae». Estas leyes universales, a pesar de que parezcan inamovibles, están sujetas a ser falseadas y revisadas. Esto sucedió en el cambio del modelo de Newton de la gravitación universal por las teorías del espacio-tiempo de Einstein.

En este sentido, el generativismo sigue *un tipo de razonamiento más parecido a las matemáticas* que a otras ciencias (Bosque y Gutiérrez-Rexach, 2009, p. 58) donde «para determinar los principios derivados de la geometría no hace falta recurrir a constatar empíricamente dichos principios, sino que se derivan de ciertos axiomas fundamentales».

⁵Como indicó Saussure en su momento.

[...] actualmente sabemos que una ciencia necesita proceder, en primer lugar, a ordenar la realidad, sin lo cual sería casi imposible formular la más pequeña hipótesis explicativa o la más mínima generalización significativa. Para la ciencia moderna, a diferencia de las «ciencias taxonómicas», no se trataría tanto de coleccionar y clasificar hechos, sino de elaborar (partiendo de un número limitado de observaciones o experiencias) teorías generales, modelos hipotéticos, destinados a explicar los hechos conocidos y prever otros nuevos. Este cambio representa, por supuesto, un salto cualitativo importante, dado que es el paso de la acumulación de observaciones a la formulación de teorías generales. Esta concepción «teórica» aparece en el campo de la lingüística a mediados del siglo XX y ha mostrado un desarrollo realmente impresionante; como es sabido, esta nueva concepción surge a partir de la publicación, en 1957, del libro *Estructuras sintácticas* de Noam Chomsky y ha recibido el nombre de gramática generativa [...]

Para Chomsky, la investigación lingüística ha acumulado ya conocimientos suficientes para permitirse sobrepasar la fase puramente clasificatoria y descriptiva, y comenzar a construir modelos hipotéticos explícitos de las lenguas y la facultad del lenguaje en el hombre. (Munguía Zatarain, 1995, p. 10-11)

Dicho esto, el generativismo lo que realiza es una investigación desde datos particulares hacia los generales. Como indica Ignacio Bosque en «Fundamentos de sintaxis formal» (2009, p. 58-59):

[...] las aproximaciones actuales al estudio de la gramática cabe establecer una división entre las que dan preferencia a la inducción y las que se basan fundamentalmente en la deducción. Con algunos matices, la división viene a coincidir aproximadamente con la que establecíamos [...] entre los marcos teóricos que consideran los datos gramaticales como «objetos externos» al individuo y los que entienden que constituyen el resultado de poner en funcionamiento un «sistema interno». En el primer caso, el gramático tratará de poner orden en los datos que encuentra, aunque por lo general dará por sentado que su posible organización será solo relativa. Es decir, en tanto que tales datos son el resultado o el reflejo de un amplio conjunto de variables históricas y sociales, no habrá razón para esperar un elevado grado de regularidad en ellos, sino a lo sumo ciertas tendencias más o menos marcadas o ciertas direcciones preferentes. En el segundo caso, el objeto analizado no lo proporcionan tanto los datos mismos como

el sistema interiorizado que los hace posibles. Las hipótesis sobre la estructura de ese sistema se intentan formular con toda la precisión de la que el gramático es capaz, y el grado de regularidad esperado es también mucho más alto.

El enfoque de gramática como «ciencia contemporánea» implica la creación de hipótesis y de axiomas de manera que la sintaxis se convierte en una especie de «matemática del lenguaje» de manera que el proceso es, como indican Bosque y Barreto (1999):

Axioma 1		
Axioma 2		Regla 1: Teorema 1
Axioma 3	→	Regla 2: Teorema 2
...		...
Axioma n		

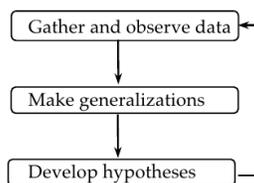
Lo cual es la misma manera que proceden las matemáticas. La hipótesis, su demostración y la creación de axiomas –o principios universales– sería el centro fuerte del generativismo. A pesar de ello, el problema es que la palabra «ciencia» está altamente cargada de significado su percepción es la que, comúnmente, proporciona un problema para hablar de «ciencia lingüística». En el imaginario popular, la ciencia debe hacerse en un laboratorio, con batas, en mesas llenas de matraces e instrumentos de medición.

La propuesta de Chomsky es aplicar el método científico a los datos lingüísticos y de allí, por medio de la formulación de hipótesis falseables, comprobarlas por medio de experimentación, sustentada en hechos –que pueden provenir de otras disciplinas, por ejemplo, la genética o la acústica– determinar si es posible llegar a la formulación de «principios universales del lenguaje».

«Ciencia» es, quizá, una de las palabras peor definidas del idioma inglés [y de cualquier lengua, como el español]. Regularmente, cuando pensamos en que los científicos son personas que estudian las bacterias, la física de partículas y la formación de compuestos químicos, pero si preguntamos a cualquier persona promedio en la calle lo que significa «la ciencia» será muy difícil conseguir una definición decente. Sin embargo, entre los propios científicos, la ciencia se refiere a una metodología especial para el estudio: *el método científico*.

El método científico se remonta a los antiguos griegos, como Aristóteles, Euclides y Arquímedes. El método consiste en la observación de ciertos datos, realizar algunas generalizaciones acerca de los patrones en dichos datos, desarrollar hipótesis que den cuenta de estas generalizaciones y probar las hipótesis contra otros datos. Por último,

las hipótesis se revisan para dar cuenta de cualquier nuevo dato y se prueban de nuevo. Un diagrama de flujo que resume el método sería:



En sintaxis, aplicamos esta metodología a la estructura de la oración. Los sintactistas inician observando datos acerca de la lengua que están estudiando, entonces hacen generalizaciones sobre patrones en los datos [...]. Luego generan una hipótesis y la ponen a prueba contra más datos sintácticos; si es necesario, vuelven atrás y para reevaluar sus hipótesis.

Las hipótesis son sólo útiles en la medida de que ellas hacen *predicciones*. Una hipótesis que no hace ninguna predicción (o, peor aún, que «predice todo») es inútil desde el punto de vista científico. En particular, las hipótesis deben ser *falseables*. Es decir, tenemos que, en principio, ser capaces de poder buscar por otros datos, los cuales, de ser ciertos, mostraría que nuestra hipótesis es falsa. Esto significa que a menudo estamos buscando los casos en los que nuestras hipótesis predican qué oraciones serán gramaticales (o no), o los casos en los que predice que será no-gramatical (en contra de los hechos).

En sintaxis, las hipótesis se llaman *reglas* y el grupo de hipótesis que describen la sintaxis de una lengua se llama una *gramática*. (Carnie, 2013, p. 7-8)

5.2.2. La facultad del lenguaje y el innatismo

Uno de los principales intereses en el programa generativista es determinar cómo es que los seres humanos adquirimos nuestra lengua. El generativismo parte de dos observaciones fundamentales. Por un lado, todo ser humano adquiere el sistema sintáctico de su lengua «de manera perfecta» de tal modo que es capaz de distinguir qué construcciones pertenecen a su lengua y cuáles no.

- (5.3) a. Olivia estaba escuchando música.
b. Olivia estar escuchando música.
c. Olivia escuchando música.

De tal modo que un hablante nativo de español reconoce que a. pertenece a su lengua, pero b. no. El ejemplo b. parece más algo dicho «por alguien nativo del inglés que está aprendiendo español». En c. los hablantes nativos de español pueden reconocer que es posible construir esa oración pero no les «parece lo correcto» «algo falta» o, en todo caso, «ellos no lo dirían así, tal vez otro tipo de persona» –de ello hablaré mas adelante–.

La cuestión es que el ejemplo a. es la construcción conocida como «progresivo». Es una construcción relativamente reciente en español ya que en el español medieval la combinación de «estar + gerundio» no formaba aspectos progresivos (Torres Cacoullous, 2008). La pregunta es, *¿cómo es que los hablantes de español reconocen esta construcción como parte de su lengua?, ¿cómo es que pueden usarla perfectamente con aspecto progresivo aún cuando no pueden identificarla?*

Esto nos lleva a la segunda observación fundamental. Los niños adquieren su lengua incluso con una «pobreza de estímulo» y sin que exista una especie de enseñanza dirigida profesional. Es decir, los papás de los niños, cuando más corrigen aquellas faltas que son normativas pero no sistemáticas. Por ejemplo, un niño que diga «está rompido» está siguiendo las reglas regulares de su lengua pero es corregido por los padres por «está roto» lo cual va en contra de la regularidad de la lengua, pero se ha establecido así por convención.

Los niños adquieren un conocimiento sofisticado y complejo de su lengua aun en edades muy tempranas. Pensemos en el caso del español, en una de sus características más extrañas: la doble cópula. La doble cópula fuerza al uso de ciertos adjetivos con una de las copulas o la otra (aunque hay adjetivos que pueden usarse en las dos) como:

(5.4) David es inteligente

*David está inteligente

Lo cual, a una edad bastante corta –cerca de los ocho años– los niños hablantes de español pueden reconocer esta relación sintáctica-semántica sin problema y sin que nadie les haya dicho que es una regla. Lo sorprendente de todo esto es que ellos lo adquieren de conversaciones al azar, de los padres, del entorno, de la televisión. *Los niños adquieren un sistema sintáctico perfecto sin siquiera saber algo de gramática.*

Es importante remarcar este punto: toda persona adquiere su lengua y su variedad de lengua de manera perfecta en un estadio muy temprano de su vida. Durante un tiempo se llegó a pensar que había personas que «hablaban mal». Es muy conocido el estudio de William Labov a quien se le pidió una solución a «por qué los niños afroamericanos tenían peores calificaciones que los niños blancos, especialmente en las clases de inglés». Los estudios de Labov concluyeron

que los niños afroamericanos tenían un léxico más desarrollado, construcciones más ricas y una expresión mayor que los niños blancos, sin embargo, lo hacían en su variante dialectal, el «inglés afroamericano» o «inglés negro» el cual es notablemente diferente a la variante estándar de inglés. Sin embargo, su capacidad en el inglés afroamericano era perfecta (crf. Labov, 1982).

Dicho esto, el aprendizaje de la lengua materna parece ser un tipo de aprendizaje de tipo «automático». Una forma de entender esto es cuando intentamos aprender una segunda lengua cuando somos adultos: es difícil, cometemos muchos errores, nunca imitamos la fonética a la perfección, siempre requiere un «esfuerzo mental», etc.

Sin embargo, la adquisición del lenguaje tiene algunas características que debemos apuntar, como muestra Munguía Zatarain (1995, p. 13-15) en un breve resumen:

1) Toda teoría que pretenda explicar el aprendizaje o la adquisición de la lengua materna, debe enfrentar el hecho de que, sobre la base de datos diversos y heterogéneos, distintos individuos llegan a construir más o menos la misma gramática [...]

2) Es también interesante observar que el discurso de los adultos que los niños oyen no está construido completamente por oraciones bien formadas; son oraciones incompletas, en ocasiones artificialmente simplificadas, e incluso podemos encontrar, por ejemplo, un abuso de diminutivos o de otras formas; son oraciones llenas de falsos inicios y, quizás el tipo de oraciones que en mayor medida se dirige al niño sean preguntas u ordenes. Entonces, la teoría tendría que enfrentar la dificultad de explicar cómo es que el niño deduce las reglas de su lengua, a partir del lenguaje defectuoso que escucha. [...]

3) Se sabe que la adquisición de la lengua materna se inicia más o menos a los dos años de edad y termina aproximadamente a los siete; aunque todos estaríamos de acuerdo en que un niño, a los 4 o 5 años de edad, ya es capaz de producir y entender un enorme número de oraciones. Es importante considerar que en esta etapa de la vida (de los dos a los siete años) los seres humanos son capaces de aprender un número reducido y muy particular de conocimientos. [...]

4) Conviene recordar que, a pesar de la complejidad de los sistemas lingüísticos que adquirimos en la niñez, vemos que algunas personas con ciertas limitaciones en su inteligencia (como es el caso de muchos niños con el síndrome de Dawn), adquieren su lengua materna y hablan y entienden tan bien su lengua como cualquier persona normal [...]

5) También podemos referirnos al hecho de que un niño normal adquiere su lengua, aún sin recibir un entrenamiento especial (como es el caso del aprendizaje de otro tipo de conocimiento); la adquiere casi sin esfuerzo, de una manera casi inconsciente. ¿Como entonces no pensar en un dispositivo innato, en unas estructuras innatas?

6) Los niños, cuando están en el proceso de adquirir su lengua materna, no reciben ninguna información sobre fenómenos como la ambigüedad y la paráfrasis; y sin embargo, todos los individuos son capaces de advertir la existencia de estos fenómenos; es decir, que todos los individuos llegan a saber cosas inconscientemente acerca de su lengua, sin un entrenamiento especial y sin evidencia directa en los datos que escucharon durante el proceso de adquisición.[...]

Estas cuestiones fueron las que llevaron a Chomsky y los generativistas a incluirse en una perspectiva innatista e internista del lenguaje: *el lenguaje y su adquisición, debería ser innato, automático, ligado a lo biológico y con mecanismo inconscientes.*

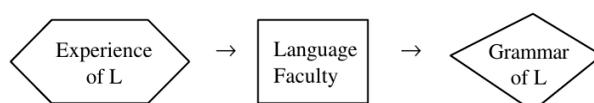
Es decir, la adquisición del lenguaje, al ser un mecanismo que se activa solo, que tiene una duración bien delimitada en la vida de los seres humanos, que adquiere el sistema lingüístico de manera perfecta a pesar de ser aprehendido de fuentes pobres y poco confiables, que no depende de la inteligencia y que no es posible reactivarlo en etapas tardías de la vida, podemos presuponer hipotéticamente que, el lenguaje, en realidad es un *instinto* –como propone Pinker (1999)– el cual tiene un correlato biológico o bioquímico.

¿Qué es la facultad del lenguaje entonces? Andrew Radford en «*Minimalist syntax*» (2004, p. 10-11) explica esto de la siguiente manera:

[E]l fenómeno central que cualquier teoría de la adquisición del lenguaje debe tratar de explicar es el siguiente: ¿cómo es que, después de un período prolongado de muchos meses en los que no hay ningún signo evidente de desarrollo gramatical, cerca de la edad de dieciocho meses hay un brote repentino en el habla, con múltiples palabras, y comienza a emerger un crecimiento fenomenal en el desarrollo gramatical que se lleva a cabo durante los próximos doce meses? Esta *uniformidad y rapidez* (una vez que el brote ha comenzado) en el patrón del desarrollo lingüístico de los niños son los dos hechos centrales que una teoría de la adquisición del lenguaje debe tratar de explicar. ¿Pero cómo?

Chomsky sostiene que la explicación más probable para la uniformidad y la rapidez de la adquisición de la lengua materna es plantear que el mecanismo de adquisición está determinado biológicamente; estamos dotados, de manera innata, de una *facultad del lenguaje* (o un

«programa para la adquisición del lenguaje», para usar una metáfora de software de computadora) dentro del cerebro que proporciona a los niños un algoritmo (es decir, un conjunto de procedimientos) transmitido genéticamente para desarrollar su gramática, sobre la base de su experiencia lingüística (es decir, sobre la base de la entrada del habla [*speech input*] que ellos reciben). La forma en que Chomsky visualiza el proceso de adquisición puede ser representado esquemáticamente como a continuación (donde está siendo adquirido el lenguaje L):



Los niños que adquieren un lenguaje observarán a las personas de su entorno utilizando su lenguaje. El conjunto de expresiones que escucha un niño (y los contextos en los que se utilizan) en el periodo de la adquisición del lenguaje constituyen la *experiencia* lingüística del lenguaje del niño. Esta experiencia sirve como entrada [*input*] a la facultad del lenguaje del niño, lo que los provee con un procedimiento para (subconscientemente) analizar dicha experiencia y elaborar una gramática de la lengua que se adquirió. Por lo tanto, la entrada a la facultad del lenguaje es la experiencia del niño, y la salida de la facultad del lenguaje es una gramática de la lengua que se adquirió.⁶

⁶«So, the central phenomenon which any theory of language acquisition must seek to explain is this: how is it that after a long drawn-out period of many months in which there is no obvious sign of grammatical development, at around the age of eighteen months there is a sudden spurt as multiword speech starts to emerge, and a phenomenal growth in grammatical development then takes place over the next twelve months? This uniformity and (once the spurt has started) rapidity in the pattern of children's linguistic development are the central facts which a theory of language acquisition must seek to explain. But how?

Chomsky maintains that the most plausible explanation for the uniformity and rapidity of first language acquisition is to posit that the course of acquisition is determined by a biologically endowed innate Language Faculty (or language acquisition program, to borrow a computer software metaphor) within the brain, which provides children with a genetically transmitted algorithm (i.e. set of procedures) for developing a grammar, on the basis of their linguistic experience (i.e. on the basis of the speech input they receive). The way in which Chomsky visualises the acquisition process can be represented schematically as in (13) below (where L is the language being acquired):

Children acquiring a language will observe people around them using the language, and the set of expressions in the language which a child hears (and the contexts in which they are used) in the course of acquiring the language constitute the child's linguistic experience of the language. This experience serves as input to the child's language faculty, which provides the child with a procedure for (subconsciously) analysing the experience and devising a grammar of the language

La facultad del lenguaje es, entonces, el mecanismo mental que permite transformar nuestras experiencias lingüísticas –cuando somos niños– y que nos permite adquirir nuestra lengua materna. Radford, en este caso, caracteriza esta facultad como una especie de «software», un «algoritmo», que se activa y desactiva por cuestiones biológicas –tal como la pubertad, por ejemplo–. Es decir, es una especie de «programa pre-armado» que corre subconscientemente en el cerebro y va construyendo la gramática mental del niño la cual queda asentada en su cerebro.

¿Cómo sería dicho «algoritmo»? Ese es el punto central de esta tesis.

Postular que existe una «facultad del lenguaje» nos lleva a una de las ideas centrales del generativismo: el *innatismo*. La idea del innatismo parte de que no todos los conocimientos son iguales; los conocimientos son heterogéneos. Algunos de ellos se dan de manera consciente y otros de manera inconsciente.

Una de las ideas falsas más comunes en cuanto al lenguaje es la idea de que los niños y adultos «aprenden» lenguas. Recordemos que el tipo básico de conocimiento del que estamos hablando aquí es el conocimiento subconsciente. Cuando producimos una oración, conscientemente no pensamos acerca de dónde colocar el sujeto, dónde poner el verbo, etc.; tu facultad del lenguaje lo hace por ti, subconsciente. Los científicos cognitivos hacen una distinción en la forma en que obtenemos el conocimiento consciente y el subconsciente. El conocimiento consciente (como las reglas del álgebra, la teoría sintáctica, los principios de la química orgánica o cómo desarmar un carburador) *se aprende*. El conocimiento subconsciente, como la forma de hablar o la capacidad de identificar visualmente objetos discretos, *se adquiere*. En parte, esto explica por qué las clases de gramática formal en un idioma extranjero a menudo fallan abismalmente para capacitar a la gente a hablar en estos idiomas. Por el contrario, estar inmerso en un ambiente donde se puede adquirir un lenguaje de manera subconsciente es mucho más eficaz. En este texto vamos a estar interesados principalmente en cómo las personas adquieren las reglas de su lengua. Sin embargo, no todas las reglas de la gramática son adquiridas. Algunas cuestiones sobre el lenguaje parecen estar construidas en nuestro cerebro, de manera innata. (Carnie, 2013, p. 19)⁷

being acquired. Thus, the input to the language faculty is the child's experience, and the output of the language faculty is a grammar of the language being acquired.» *La traducción es mía*.

⁷«One of the most common misconceptions about Language is the idea that children and adults “learn” languages. Recall that the basic kind of knowledge we are talking about here is subconscious knowledge. When producing a sentence you don't consciously think about where to put the subject, where to put the verb, etc. Your subconscious language faculty does that for you. Cognitive scientists

La discusión que se daba a mediados del siglo XX era una discusión filosófica que lleva muchos siglos sin resolverse: los seres humanos, ¿somos una hoja en blanco?, ¿o existen conocimientos pre-establecidos en nuestra mente? Esta discusión se puede rastrear desde Platón, pasando por John Locke y Descartes hasta Skinner y Chomsky. El generativismo, en sí, está del lado filosófico de que pueden existir conocimientos dados de manera innata por nuestros genes o que pueden ser aprendidos sin conciencia alguna. Actualmente, John Searle es el principal opositor a la idea del «conocimiento subconsciente».

Dado que la adquisición de la lengua materna entraría en el tipo de conocimientos «subconscientes» y esta está determinada por la forma en la que opera el cerebro a nivel neuronal, nos plantea un problema teórico importante: *¿por qué es que no se habla una sola lengua en el mundo?*

Si no existe una determinación, a nivel sintáctico, de la lengua materna de una persona, ¿cómo se puede explicar la multiplicidad de lenguas?

Si reflexionamos en cuanto a los otros tipos de conocimiento que son subconscientes, veremos que muchos de ellos (por ejemplo, la capacidad de caminar) están contruidos directamente en nuestro cerebro: son instintivos. Nadie nos tuvo que enseñar a caminar (¡a pesar de lo que sus padres puedan pensar!). Los niños comienzan a caminar por su cuenta; caminar es un instinto. Probablemente la afirmación más controvertida de Chomsky es que el lenguaje es también un instinto. Muchas partes del lenguaje están previamente contruidos, son innatas. Gran parte del lenguaje es una capacidad cableada en nuestro cerebro por nuestros genes.

Obviamente, las lenguas particulares no son innatas. Nunca se da el caso de que un hijo de padres eslovacos criado en América del Norte, a quien nunca se habla en el eslovaca, crezca hablando eslovaco: hablará inglés (o cualquier otro idioma que se hable alrededor de él). Así que, en la superficie, parece una locura decir que el lenguaje es un instinto. Hay muy buenas razones para creer, sin embargo, que una habilidad humana para el lenguaje (tal vez en forma de un «órgano

make a distinction in how we get conscious and subconscious knowledge. Conscious knowledge (like the rules of algebra, syntactic theory, principles of organic chemistry or how to take apart a carburetor) is learned. Subconscious knowledge, like how to speak or the ability to visually identify discrete objects, is acquired. In part, this explains why classes in the formal grammar of a foreign language often fail abysmally to train people to speak those languages. By contrast, being immersed in an environment where you can subconsciously acquire a language is much more effective. In this text we'll be primarily interested in how people acquire the rules of their language. Not all rules of grammar are acquired, however. Some facts about Language seem to be built into our brains, or innate.» *La traducción es mía.*

del lenguaje» en el cerebro) es innata. Llamamos a esta habilidad Gramática Universal (o GU). (Carnie, 2013, p. 19)⁸

5.2.3. Actuación y competencia

Los conceptos de actuación y competencia son de los conceptos del generativismo que más problemas traen y que se discuten más. Dichos conceptos –de cierta manera, pero no totalmente– empatan con la idea de «lengua/habla» de Saussure. Antes de definirlos, veamos dos ejemplos para explicar este punto. Uno está centrado en el habla infantil y otro en el habla popular.

Pensemos en el paradigma de participio en español donde, de manera regular, se forman con una raíz verbal y un sufijo «-ado» o «-ido». Los niños, durante las etapas de adquisición de su lengua materna, comienzan a formar participios a edad temprana.

La cuestión que quiero mostrar es cuando comienzan a utilizar participios «irregulares». Los niños comenzarán diciendo «está *rompido*» o «está *morido*» y sólo aprenderán la irregularidad de estos verbos al ser corregidos por sus padres o escuchar la forma irregular «está roto» o «está muerto». Sin embargo, esta irregularidad no está en el sistema: se debe aprender. Es arbitrario, por lo que el niño debe «memorizar e introyectar» los verbos en los que se da esta irregularidad.

Pensemos en otra irregularidad que está fuera de la «norma»: el uso del fonema [s] a final de palabra en la segunda persona del singular. Muchas personas dicen «dijistes» o «venistes» al realizar esta forma verbal. Pensado en términos sociolingüísticos, este uso está determinado por factores internos y externos en la lengua. Y buena parte de estos factores externos son debido a estratificación social. Sin embargo, al examinar el sistema, podemos notar que el uso de el fonema [s] debería ser lo regular en la segunda conjugación del singular:

⁸«If you think about the other types of knowledge that are subconscious, you'll see that many of them (for example, the ability to walk) are built directly into our brains – they are instincts. No one had to teach you to walk (despite what your parents might think!). Kids start walking on their own. Walking is an instinct. Probably the most controversial claim of Noam Chomsky's is that Language is also an instinct. Many parts of Language are built in, or innate. Much of Language is an ability hard-wired into our brains by our genes.

Obviously, particular languages are not innate. It is never the case that a child of Slovak parents growing up in North America who is never spoken to in Slovak grows up speaking Slovak. They'll speak English (or whatever other language is spoken around them). So on the surface it seems crazy to claim that Language is an instinct. There are very good reasons to believe, however, that a human facility for Language (perhaps in the form of a "Language organ" in the brain) is innate. We call this facility Universal Grammar (or UG).» *La traducción es mía*.

[PRS]	tú vienes	
[PST]	tú veniste	★
[FUT]	tú vendrás	
[COP]	tú venías	
[POS]	tú vendrías	

Como podemos observar, sólo la segunda del singular del pasado no termina con [s]. Lo «regular» o lo «normal» sería subsanar esta falta y hacer más regular al sistema. Sin embargo, por pertenencia a cierto estrato social, la «norma» nos dice que es «incorrecto pronunciarlo así».

Dicho esto, es usual comparar la diferencia entre «actuación» y «competencia» con la diferencia entre «lengua» y «habla» de Saussure. Podemos utilizar ese símil pero solo hasta cierto punto pertinente.

Son similares en el hecho de que la «actuación» parece referirse a la forma en la que se usa el lenguaje y la «competencia» a su estructura como sistema. Sin embargo, la competencia lingüística es «el conocimiento que tiene un hablante de su lengua» y la actuación es «el uso que se hace de ese conocimiento» (Bosque y Gutiérrez-Rexach, 2009, p. 66).

[...] Cuando hablamos o escuchamos, estamos realizando el acto [*performing*] de crear una pieza de la producción del lenguaje [*a piece of language output*]. Esta actuación puede ser interrumpida por todo tipo de factores externos: podemos estar distraídos o aburridos; podemos toser o murmurar nuestras palabras; podemos olvidar lo que habíamos oído anteriormente; el ruido de un autobús que pasa puede borrar una palabra clave. La *actuación* [*performance*] se refiere a la forma en que el lenguaje realmente se produce o se oye. La *competencia* [*competence*], por el contrario, se refiere a lo que sabemos acerca de nuestra lengua, lo cual se queda al margen de factores que podrían «enturbiar las aguas» de la actuación. (Carnie, 2013, p. 17)⁹

⁹«When we speak or listen, we are performing the act of creating a piece of language output. This performance can be interrupted by all sorts of extraneous factors: we can be distracted or bored; we can cough or mumble our words; we can forget what we had previously heard; the noise of the bus driving past can blot out a crucial word. Performance refers to the kinds of language that are actually produced and heard. Competence, by contrast, refers to what we know about our language; it is unimpeded by factors that might muddy the waters of performance. So think about the really long complicated sentence in (15). The first time you read it, things like your memory and how complicated it was interfered with your ability to understand it. So the initial unacceptability of the sentence was due to a performance problem. But once you thought about it and stared at it a bit, you saw that it was actually a fairly standard grammatical sentence of English – just a really complicated one. When you did this you were accessing your competence in (or knowledge of) English grammar.» *La traducción es mía*.

La competencia, por tanto, es todo aquello que sabemos sobre nuestra lengua materna: si las oraciones que escuchamos o emitimos son gramaticales o no, si un sonido pertenece a nuestro catálogo fonológico o no, si cierta palabra pertenece al «lexicón» de la lengua que hablamos, etc. La actuación, por otro lado, se refiere al uso que damos de nuestra lengua, la cual está sujeta a múltiples factores, tanto internos como externos, que pueden afectar tanto su emisión como su recepción.

Chomsky –al igual que Saussure–, de una manera radical, postulaba que la lingüística debe ocuparse únicamente de el sistema de la lengua y no de su uso. Esto se ha vuelto un lugar común tanto en la historia de la lingüística como en las clases de esta disciplina. Los debates entre el estudio del uso y la forma, aunque parecen interminables, últimamente se han relajado un poco.

En los trabajos que se remontan a la década de 1960, Chomsky estableció una distinción entre la *competencia* (conocimiento tácito del hablante nativo de su lengua) y la *actuación* (lo que la gente dice o lo que entiende de lo que dice otra persona en una ocasión dada). La competencia es el «conocimiento del hablante-oyente de su lenguaje», mientras que la actuación es «el uso real de la lengua en situaciones concretas» [...]. Muy a menudo, la actuación es un reflejo imperfecto de la competencia: todos hacemos resbalones ocasionales de la lengua, o de vez en cuando algo errónea interpretación de lo que otra persona dice a nosotros. Sin embargo, esto no quiere decir que no sabemos nuestro idioma nativo o que no tenemos competencia en el mismo. Las malas producciones y las malas interpretaciones son errores de actuación, las cuales se les puede atribuir a una variedad de factores de rendimiento, como el cansancio, el aburrimiento, la embriaguez, las drogas, las distracciones externas y así sucesivamente. Una gramática de una lengua le dice lo que necesita saber para tener competencia similar a la nativa en una lengua (es decir, ser capaz de hablar una lengua con tanta fluidez como un nativo): por lo tanto, es evidente que la gramática se refiere a la competencia en lugar de la actuación. Esto no es negar el interés de la actuación como un campo de estudio, sino que se limita a afirmar que la actuación se estudia con más propiedad dentro de la distinta –aunque relacionada– disciplina de la psicolingüística, que estudia los procesos psicológicos que subyacen a la producción del habla y comprensión. (Radford, 2004, p. 7)¹⁰

¹⁰«In work dating back to the 1960s, Chomsky has drawn a distinction between competence (the native speaker's tacit knowledge of his or her language) and performance (what people actually say or understand by what someone else says on a given occasion). Competence is 'the speaker-hearer's knowledge of his language', while performance is 'the actual use of language in concrete situations'»

5.3. Breve revisión del generativismo

El generativismo suele parecer, a los observadores externos, como demasiado azaroso, demasiado inconstante. El problema suele ocurrir en cuanto a que no se distingue que existen por lo menos tres o cuatro «capas» o periodos evolutivos de su desarrollo.

Debemos contemplar que estas tres grandes etapas también sufrieron divisiones internas, reelaboraciones, propuestas ramificadas y distintos puntos de vista. Esto hace que el generativismo aparezca como un *maremagnum* de teorías dispares, abreviaturas sin explicación, equívocos, malas interpretaciones y un largo etcétera.

Situaremos el inicio del generativismo con la tesis doctoral de Noam Chomsky «*Logical structure of linguistic theory*» (Chomsky, 1975) la cual se mantuvo inédita hasta los años setenta. Un año después, se publicó «Estructuras sintácticas» una monografía donde se resumía dicha tesis doctoral. Así inicia el primer periodo conocido como *teoría estándar*.

Este primer periodo está caracterizado por el planteamiento del generativismo como programa de investigación y sus preguntas generales –básicamente, *¿cómo un hablante adquiere su lengua?*–. Además de eso, la sintaxis está caracterizada como un sistema de reglas de reescritura –a la manera de un lenguaje formal o autómatas de estados finitos–.

Para mediados de los sesenta, el sistema de reglas de reescritura parece insuficiente para resolver algunas cuestiones de los lenguajes naturales –por ejemplo, *¿cómo se forman oraciones interrogativas?*–. El programa de investigación propone un grupo de reglas más amplio entonces: las reglas de transformación.

Esta línea de investigación coloca a las reglas de transformación como el centro de la investigación generativista hasta mediados de los sesenta. Hay quienes le han dado el nombre a este periodo histórico de *teoría estándar extendida* o *teoría estándar ampliada*. Otros más la consideran dentro del mismo periodo anterior o como un periodo «de transición».

(Chomsky 1965, p. 4). Very often, performance is an imperfect reflection of competence: we all make occasional slips of the tongue, or occasionally misinterpret something which someone else says to us. However, this doesn't mean that we don't know our native language or that we don't have competence in it. Misproductions and misinterpretations are performance errors, attributable to a variety of performance factors like tiredness, boredom, drunkenness, drugs, external distractions and so forth. A grammar of a language tells you what you need to know in order to have native-like competence in the language (i.e. to be able to speak the language like a fluent native speaker): hence, it is clear that grammar is concerned with competence rather than performance. This is not to deny the interest of performance as a field of study, but merely to assert that performance is more properly studied within the different – though related – discipline of psycholinguistics, which studies the psychological processes underlying speech production and comprehension.» *La traducción es mía*.

Durante la década de los setenta del siglo pasado, la popularidad del generativismo dentro de los círculos académicos aumenta. Con ello, comienzan a escribirse a raudales artículos de investigación que confirman y soportan la existencia de reglas de reescritura y de reglas de transformación en diferentes lenguas a lo largo del mundo. Llegan a existir manuales donde se postula la existencia de cientos y cientos de reglas de reescritura y de transformación para una sola lengua.

Es Noam Chomsky mismo quien, para 1986 con el libro «*Knowledge of Language: Its Nature, Origins, and Use*» determina que es necesaria una revisión crítica: *es insostenible que existan tantas reglas y tantos mecanismos en la mente humana*.

Es entonces que inicia el periodo de la teoría de *principios y parámetros*. Dicha teoría supone una revolución al interior del generativismo. Se considera que las investigaciones hasta ese momento han estado mal encaminadas y se propone que el objetivo es determinar cuales son las reglas comunes a todas las lenguas del mundo y cómo es que se activan o desactivan en cada una de ellas. Dicho de otra manera, esto es un «borrón y nueva cuenta» donde la investigación se centra en la *Gramática Universal: los principios universales de la sintaxis que deben de compartirse como especie humana*. Se entiende que la configuración neuronal del cerebro es la que mantiene estos principios y son las comunidades las que deciden que opción gramatical usarán en su lengua –es decir, la parametrización de los principios universales–.

Esta revolución es la que, al interior del generativismo, decepciona, confunde y molesta a cientos de investigadores que, sin datos empíricos, se les indica que sus investigaciones han sido reducidas a nada. Es justo en estos años ochenta que el generativismo se hace *vox populi* pero, al interior, impera un clima de caos.

El último y actual periodo del generativismo es el llamado «Programa minimalista». Inicia en 1995 con la publicación del libro del mismo nombre para el MIT con autoría de Chomsky. Este último periodo se le considera una forma extendida del modelo anterior –principios y parámetros– o un periodo «de transición» hacia un nuevo paradigma científico. Fue nombrado como «programa» para enfatizar el hecho de que no se trata de una propuesta teórica, sino metodológica: *lo que se propone es un método de investigación*.

La caracterización de este periodo es la idea de que el lenguaje está diseñado de manera perfecta. Se intenta que la investigación lingüística esté apoyada en descubrimientos de la biología y la neurología para determinar las características del «órgano del lenguaje». La figura de Chomsky, para este periodo, deja de ser central y se vuelve un programa de investigación comunitario y flexible, sin embargo, se regresa al rigor que se postulaba en la «teoría estándar».

En el siguiente cuadro, elaborado por Gutiérrez y Soriano (2004), podemos ver de manera visual la evolución del generativismo.

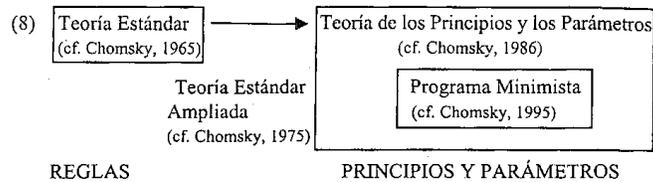


Figura 5.1: Evolución del generativismo. Cuadro tomado de Gutiérrez y Soriano (2004)

Haré una revisión rápida de cada uno de los periodos anteriores con el objetivo de explicar cómo es que se llegó a esta última fase, «el programa minimalista».

5.3.1. La teoría estándar (pura y extendida)

La teoría «clásica» o «estándar» parte de la idea de que toda la sintaxis puede organizarse en un conjunto de reglas finito. Como vimos en el primer capítulo, esta cuestión estaba basada en modelos generativos matemáticos que imperaban en la década de los 1950 dado que la Segunda Guerra había impulsado el desarrollo de la computadora digital.

Es decir, la idea básica era sustentar el estudio de las estructuras sintácticas en un sustrato proveniente de la reciente formulación del concepto de «algoritmo» el cual diera cuenta de reglas de reescritura, las cuales postularían que la sintaxis mental funcionaria como un autómata.

El objetivo fundamental del modelo reglar de la Teoría Estándar es diseñar gramáticas «descriptivamente adecuadas», es decir, gramáticas que den cuenta explícitamente de las propiedades de las gramáticas mentales de los hablantes, entre ellas y de manera destacada, la infinitud discreta, la recursividad, la composicionalidad o las sistemáticas relaciones que existen entre oraciones, como las activas y las pasivas, cuyas estructuras argumentales son idénticas, aunque sus representaciones fonéticas sean distintas. Con este fin, el conocimiento gramatical de los individuos se caracteriza, básicamente, por medio de dos tipos de algoritmos: las reglas de estructura sintagmática y las transformaciones. (Gutiérrez y Soriano, 2004, p. 65)

Entonces, la idea es que las gramáticas, pensadas como un dispositivo, puedan dar cuenta de la infinitud discreta. Esto quiere decir que el hablante puede dar cuenta de un número infinito de oraciones a partir de un número finito y limitado de elementos.

Como podemos suponer, esto se realiza por medio de «reglas de producción» de un autómata –ver 2.4.1–.

Lo importante de esta idea es que la gramática no elabora las oraciones en su forma fónica directamente, sino que muestra explícitamente el «mecanismo» de formación de oraciones que sucede a nivel subconsciente el cual solo es, por así decirlo, una «maqueta», una simulación de la oración que se producirá una vez que haya pasado por la semántica y la fonética.

Una «gramática generativa» es una gramática que asigna descripciones estructurales (esto es, conjuntos de propiedades fonéticas, sintácticas y semánticas) a las expresiones lingüísticas. Dicho de otro modo, una gramática generativa *no* «produce» las oraciones de una lengua, sino que caracteriza de manera explícita las unidades que las componen y las relaciones, lineales y jerárquicas, que estas establecen entre sí. Una gramática generativa es, por tanto, simplemente, una gramática explícita. (Gutiérrez y Soriano, 2004, p. 74)

La teoría estándar, entonces, al ser una gramática mentalizada y explícita, tiene que determinar que hay por lo menos tres componentes modulares los cuales interactúan, uno después del otro –de forma algorítmica–, los cuales por lo menos uno es generativo y los otros dos interpretativos. Es decir, el dispositivo gramatical genera una cadena de componentes el cual se envía al *input* de la estructura profunda. El output de esta estructura profunda, el cual da su representación semántica, alimentaría directamente el input de la estructura superficial con lo cual tendríamos la interpretación fonética de la oración.

Gutiérrez y Soriano (2004) nos muestra este proceso, el cual es, en realidad una esquematización de «Aspectos de la teoría de la sintaxis» de Chomsky:

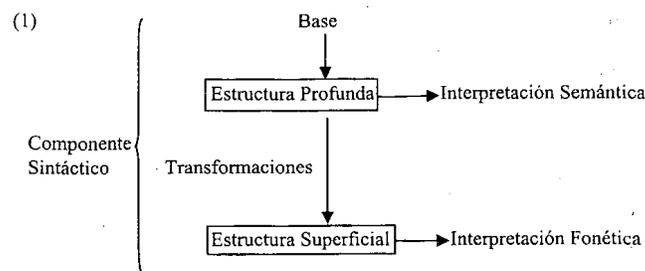


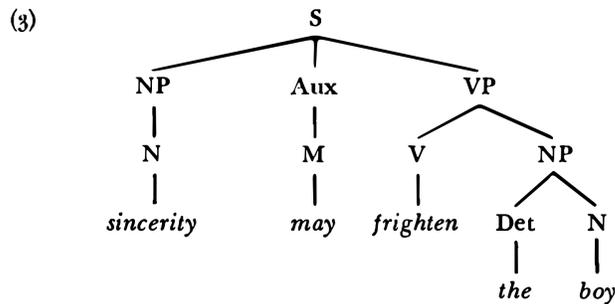
Figura 5.2: Los tres componentes modulares postulados en la teoría estándar o clásica. Tomado de Gutiérrez y Soriano (2004, p. 73)

La propuesta de la teoría estándar es determinar las características de la «estructura profunda» y determinar cómo es que sus elaboraciones *emergen* a la «estructura superficial». El postulado en los primeros años del generativismo dicta que la estructura profunda debe de poseer una serie de reglas sintácticas que funcionan como un autómata el cual va conjuntando entradas léxicas subcategorizadas.

5.3.1.1. La estructura ahormacional

La propuesta de Chomsky de investigar la sintaxis como un autómata y, con mayor especificidad, como un lenguaje libre de contexto, se remonta al trabajo realizado en «Estructuras sintácticas» (Chomsky, 1957;2004) y en «*The algebraic theory of context-free languages*» (Chomsky y Schützenberger, 1963). Según Chomsky mismo, «la idea de que una lengua se basa en un sistema de reglas que determinan la interpretación de sus infinitas oraciones no tiene nada de original» (Chomsky, 1976) y le adjudica esta idea a Wilhelm von Humboldt y a los gramáticos de Port Royal (Chomsky, 1976).

Aunque en «*The algebraic theory of context-free languages*» (1963) y había indicado las dificultades lingüísticas y matemáticas de usar lenguajes libres de contexto para el estudio de las lenguas naturales –aunque abría la posibilidad de estudiar lenguajes de programación, lo que daría pie a la «jerarquía de Chomsky»–, es hasta el libro «Aspectos de la teoría de la sintaxis» (Chomsky, 1976) que sugiere el uso de reglas de reescritura para la descripción de las lenguas naturales. En dicho libro, él dice:



[...]

El mecanismo natural para generar Ahormantes como el de (3) es un sistema de reglas rescriturales. Una regla rescritural es una regla de la forma

$$(4) A \rightarrow Z/X_Y$$

donde X e Y son cadenas de símbolos (posiblemente nulas), A es un solo símbolo categorial, y Z es una cadena-de-símbolos no-nula. Esta regla se interpreta en el sentido de que la categoría A se realiza como la cadena Z cuando está en el entorno que consta de X a la izquierda e Y a la derecha. La aplicación de la regla rescritural (4) a una cadena $\dots XAY \dots$ convierte a esta en una cadena $\dots XZY \dots$. Dada una gramática, decimos que una secuencia de cadenas es una *derivación-W de V* si W es la primera y V la última cadena de la secuencia, y cada cadena de la secuencia es derivada de la precedente aplicando una de las reglas rescriturales (con una condición de orden que hay que añadir luego). Si V es una cadena de formantes, decimos que una derivación-W de V está *terminada*. Llamamos V cadena terminal si hay una *derivación-#S# de #V#*, donde S es el símbolo inicial designado de la gramática (que se presenta en la categoría Oración o Sentencia), y es el símbolo de *linde* (considerado de forma gramatical). Así que construimos una derivación de una cadena terminal aplicando sucesivamente las reglas rescriturales de la gramática, empezando por la cadena #S#, hasta que la cadena final de la derivación consta solo de formantes y, por tanto, no hay posibilidad de seguir RESCRIBIENDO. Si se impone sobre el sistema de reglas rescriturales varias otras condiciones, es más fácil proporcionar un método sencillo para asignar un Ahormante único y apropiado a una cadena terminal, dada su derivación. Así que un sistema de reglas rescriturales, apropiadamente restringido, puede servir como parte de una gramática generativa.

Un conjunto de reglas rescriturales *no ordenado*, aplicado del modo imprecisamente descrito aquí (y descrito con precisión en otro lugar) se llama *gramática ahormacional* («constituent structure grammar» o «phrase structure grammar»). Se dice, además, que esta gramática es independiente de contexto (o simple) si en cada regla de la forma (4) X e Y son nulos, de modo que las reglas se aplican independientemente del contexto. (Chomsky, 1976, p. 64-65)

Este oscuro fragmento de «Aspectos...» es, en realidad, la base de la teoría del primer generativismo. Una estructura ahormacional equivale tanto al «análisis de estructura de constituyentes» y a las reglas de producción de las gramáticas formales –véase 2.4.1–. Lo que busca Chomsky en este periodo es desarrollar gramáticas generativas que sean adecuadas para la descripción de las lenguas naturales –y en específico, «qué tanto un hablante sabe de su propia lengua»– así como que den cuenta de su capacidad creativa –es decir, que sean capaces de producir un número infinito de oraciones con elementos finitos–.

En la cita de «Aspectos...» anterior, se habla de una gramática que pueda generar la oración «*Sincerity may frighten the boy*» con una gramática generativa que de cuenta de esa oración específica y ninguna agramatical y que pueda corresponder a una estructura ahormacional –la representación arbórea de la gramática–.

Con ello, Chomsky (Chomsky, 1976, p. 66) determina las reglas de producción de dicha oración.

Para proporcionar un Ahormante como el de (3), la base debe contener la siguiente secuencia de reglas rescriturales:

(5)

(I)

$S \rightarrow FN \sim Aux \sim FV$

$FV \rightarrow V \sim FN$

$FN \rightarrow Det \sim N$

$FN \rightarrow N$

$Det \rightarrow 'the'$

$Aux \rightarrow M$

(II)

$M \rightarrow 'may'$

$N \rightarrow 'sincerity'$

$N \rightarrow 'boy'$

$V \rightarrow 'frighten'$

Nótese que las reglas de (5), aunque no bastan para generar (3), generarán también cadenas aberrantes tales como *boy may frighten the sincerity* 'niño puede asustar [a] la sinceridad'.

La nota que deja Chomsky al final de su listado de reglas de rescritura es interesante porque califica de «aberrante» una oración que, en realidad, pareciera ser «aberrante» en el sentido semántico más que en el sintáctico.

Dicho esto, un análisis sintáctico de la teoría estándar, luciría de la siguiente forma:

- (4) a. Designated initial symbol (Σ): S
 b. Rewrite rules (F):
 $S \rightarrow NP VP$
 $NP \rightarrow N$
 $VP \rightarrow V$
 $N \rightarrow \text{John}$
 $V \rightarrow \text{laughs}$

we can obtain a derivation as in (5):

- (5) Line 1: S
 Line 2: NP VP
 Line 3: N VP
 Line 4: N V
 Line 5: John V
 Line 6: John laughs

(6)

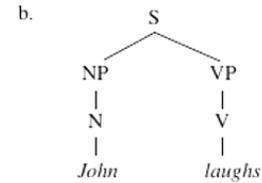
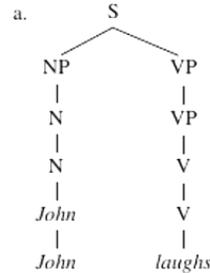


Figura 5.3: Análisis de constituyentes en la teoría estándar. En (4) vemos las reglas de reescritura que dan origen a la oración «John laughs». En (5) está la derivación. En (6) el esquema arbóreo expandido (a.) y contraído (b.). Tomado de Lasnik y Lohndal (2013, p. 29-30)

5.3.1.2. Reglas transformacionales

Uno de los problemas a los que se enfrentó la teoría estándar fue el hecho de que las reglas de producción o de reescritura daban cuenta de solo un grupo muy reducido de oraciones: las simples (Gutiérrez y Soriano, 2004, p. 81). Aunque podía haber subordinadas, no había forma de explicar las pasivas, las interrogativas y muchas más del espectro de oraciones.

Hasta el momento hemos visto que una condición *sine qua non* para que una gramática cumpla el requisito de la adecuación descriptiva es que debe poder dar cuenta de la «propiedad de la formación de frases». Esa es, sin embargo, una condición necesaria, pero no suficiente. Una gramática descriptivamente adecuada debe ser capaz de expresar, además, de manera explícita, otro aspecto central del conocimiento gramatical de los hablantes: el hecho de que existan relaciones sistemáticas entre determinadas construcciones, como por ejemplo, entre las oraciones activas y las pasivas, o entre las oraciones declarativas y las interrogativas.

[...]

Pues bien, tratar de captar relaciones sistemáticas entre construcciones como las que acabamos de describir es el motivo último de que, en la Teoría Estándar, se establezca una distinción entre la estructura profunda y la estructura superficial de una misma oración. En otras palabras, con la distinción entre la estructura profunda y la estructura

superficial de una oración se quiere dar cuenta, fundamentalmente, de lo que en la actualidad se conoce, en el ámbito de la lingüística chomskiana, como «propiedad del desplazamiento» de las lenguas naturales (i.e., el hecho de que un sintagma, el sujeto paciente de una oración pasiva, por ejemplo, se interprete fonéticamente en una posición distinta de aquella en la que se interpreta semánticamente). (Gutiérrez y Soriano, 2004, p. 81-82)

Este desarrollo, la forma en la que se concebían las interfases, daría pie a la formulación de la semántica generativa en la década de 1980 (Lasnik y Lohndal, 2013, p. 35). Sin embargo, quedaban dos problemas principales por resolver. Uno de ellos era la recursividad en una gramática generativa en las subordinadas y los verbos psicológicos.

(5.5) Juan dice que Pedro creía haber visto a Juana en la tienda.

Oración que, en la teoría estándar, no había otra opción que considerar que mentalmente se conformaban tres oraciones simples y «de alguna manera» se conjuntaban en un objeto sintáctico más complejo.

El problema también radicaba en la morfosintaxis. Desde «Estructuras sintácticas», Chomsky ya había encontrado el problema de describir explícitamente cómo era que ciertos afijos podían «saltar de palabra a palabra» –el fenómeno conocido en gramática generativa como *affix hopping*–.

Curiosamente, la teoría en «Estructuras sintácticas» y «*The logical structure of linguistic theory*» (Chomsky 1955/1975, en adelante *LSLT*) no tenía a la recursión en su base, es decir a las reglas PS [phrase structure] o secuencias de ellas que permitirían la autoincorporación. En su lugar, las estructuras complicadas, por lo tanto infinitas, fueron creadas por operaciones especiales llamadas transformaciones generalizadas, las cuales reunieron las estructuras simples generadas por las reglas PS. Por ejemplo, para derivar *John knew that Mary understood the theory*, primero las estructuras subyacentes *John knew it* y *Mary understood the theory* se generaba por separado por medio del método descrito anteriormente; entonces, una transformación generalizada insertaba la segunda de estas estructuras en la primera. Metafóricamente, una transformación generalizada injerta un árbol sobre otro.

[...] Chomsky mostró cómo las transformaciones singulares pueden explicar la relación entre, por ejemplo, las declaraciones y las preguntas correspondientes:

(7)

- a. *Susan will solve the problem.* → *Will Susan solve the problem?*
b. *John is visiting Rome.* → *Is John visiting Rome?*

Los miembros de cada par proceden del mismo marcador P inicial, con transformaciones singulares que producen las formas divergentes de la superficie. Uno de los grandes triunfos del análisis de tales pares en *LSLT* es que fue capaz de usar la misma transformación singular para las frases interrogativas en (7) y superficialmente muy diferentes en (8).

(8)

- Susan solved the problem.* → *Did Susan solve the problem?*

Este fue un logro significativo ya que las relaciones son percibidas por hablantes nativos como paralelas, un hecho por demás misterioso. Chomsky también mostró cómo, en numerosas situaciones, incluso las propiedades de las oraciones individuales no pueden caracterizarse adecuadamente sin recurrir al poder descriptivo de las transformaciones singulares. Un ejemplo importante implicaba las secuencias de los verbos auxiliares ingleses y los sufijos de inflexión asociados con ellos. La intuición revolucionaria aquí (y en el análisis de (7) y (8)) fue que estos morfemas ligados, especialmente los de tiempo y concordancia, son ítems autónomos en lo que respecta a la sintaxis, capaces de someterse independientemente a operaciones sintácticas hasta llegar a unirse con un elemento verbal (un proceso que llegó a llamarse «*Affix Hopping*»). La transformación *Affix Hopping* se eleva por encima de las limitaciones de la estructura de frases (que en el mejor de los casos, se puede enumerar únicamente las posibles secuencias) y capta simultáneamente las generalizaciones acerca del ordenamiento lineal de los elementos, sus dependencias morfológicas, la localización del tiempo finito, la forma de inversión, la negación de la oración y la distribución de los auxiliares *do*. Había, por tanto, una motivación considerable para este nuevo dispositivo que relaciona las estructuras subyacentes más abstractas con las representaciones superficiales más superficiales. De hecho, una de las principales innovaciones conceptuales en toda la teoría es la propuesta de que una oración no tiene una sola estructura, estrechamente relacionada con la forma en que se pronuncia, sino una estructura abstracta adicional (potencialmente muy diferente de la superficial) y estructuras inter-

medias entre estos dos. Esto es fundamental para todos los análisis en el sistema chomskiniano. (Lasnik y Lohndal, 2013, p. 30-32)¹¹

Por una parte, se proponía que lo semántico debía ser un módulo de salida y no de entrada. Es decir, se proponía que, después de que hubiera emergido la estructura superficial esta sería, de cierta manera, «validada» o «representada» por un módulo conceptual-intensional –el cual determina la «forma lógica»– y un módulo motor-sensorial –el cual se encarga de la parte fonética (Lasnik y Lohndal, 2013, p. 38).

Por otro lado, se proponía que, entre la estructura profunda y la estructura superficial existiera un conjunto adicional de reglas las cuales cambiaban los constituyentes de la oración simple por otro tipo de oraciones –ya fuera por otro tipo de oraciones «simples» como las interrogativas o las pasivas, además de aquellas «recursivas» que son las subordinadas–.

¹¹«Interestingly, the theory in both *Syntactic Structures* and *The Logical Structure of Linguistic Theory* (Chomsky 1955/1975, henceforth LSLT) did not have recursion in the base, that is, PS rules, or sequences of them, that allow self-embedding. Instead, complicated structures, hence infinity, were created by special operations, called generalized transformations, which put together the simple structures generated by the PS rules. For example, to derive *John knew that Mary understood the theory*, first the separate structures underlying *John knew it* and *Mary understood the theory* were generated by the method described above; then a generalized transformation inserted the second of these structures into the first. Metaphorically, a generalized transformation grafts one tree onto another.

[...]Chomsky showed how singular transformations can explain the relatedness between, for example, state-ments and corresponding questions:

(7) a. Susan will solve the problem. → Will Susan solve the problem? b. John is visiting Rome. → Is John visiting Rome?

The members of each pair come from the same initial P-marker, with singular transformations producing the divergent surface shapes. One of the great triumphs of the analysis of such pairs in LSLT is that it was able to use the same singular transformation for the interrogative sentences in (7) and the superficially very different one in (8).

(8) Susan solved the problem. → Did Susan solve the problem?

This was a significant achievement since the relations are felt by native speakers to be parallel, an otherwise mysterious fact. Chomsky also showed how, in numerous situations, even properties of individual sentences cannot be adequately characterized without recourse to the descriptive power of singular transformations. One major example involved the sequences of English auxiliary verbs, and the inflectional suffixes associated with them. The revolutionary insight here (and also in the analysis of (7)–(8)) was that these bound morphemes, especially the one carrying tense and agreement, are autonomous items as far as the syntax is concerned, capable of undergoing syntactic operations independently until eventually uniting with a verbal element (a process that came to be called ‘Affix Hopping’). The Affix Hopping transformation rises above the limitations of phrase structure (which at best can simply list the possible sequences) and simultaneously captures the generalizations about linear ordering of the elements, their morphological dependencies, the location of finite tense, the form of inversion and sentence negation, and the distribution of auxiliary do.³ There was, thus, considerable motivation for this new device relating more abstract» *La traducción es mía.*

Tal cambio haría que el modelo de generación de oraciones fuera reelaborado de la siguiente manera:

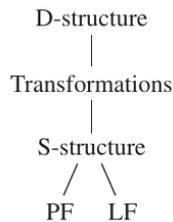


Figura 5.4: El modelo de «Y invertida» que daría origen a la «teoría de rección y ligamiento». En este esquema «D» es por «Deep»; «S» por «Superficial»; «PF» por «phonetic form» y «LF» por «logic form». Tomado de Lasnik y Lohndal (2013, p. 38)

Este conjunto adicional de reglas serían conocidas como *reglas transformacionales*, las cuales se componían de dos partes: una parte que analizaba la oración y otra parte que proponía un cambio en su estructura.

Ignacio Bosque en «Fundamentos de sintaxis formal» (2009, p. 89-91) explica las reglas transformacionales de la siguiente forma.

Las gramáticas sintagmáticas (dependientes o independientes del contexto) pueden aumentar su poder generativo considerablemente si se les añade un nuevo tipo de reglas llamadas **REGLAS TRANSFORMACIONALES**. Estas reglas son de una naturaleza diferente, su poder generador es mayor, y las repercusiones que tienen con respecto a la estructura del modelo gramatical son más profundas, ya que han de ser restringidas adecuadamente. Una regla transformacional constituye una **ALTERACIÓN** realizada sobre una estructura sintáctica, más concretamente, una modificación que se aplica a la descripción estructural de un patrón sintáctico.

Recuerde que alternancias como *mucho ~ muy* [...] también pueden verse como «alteraciones», pero las reglas sintagmáticas dependientes del contexto solo «leen» los entornos contiguos, es decir, solo tienen en cuenta lo que está inmediatamente delante o detrás del elemento al que afectan. Las reglas transformacionales son más complejas. Una regla transformacional debe especificar el **ANÁLISIS ESTRUCTURAL** (AE) (también llamado **DESCRIPCIÓN ESTRUCTURAL**) y el cambio que a él se aplica (es decir, una secuencia de categorías en la que vamos

a establecer alguna modificación), y el CAMBIO ESTRUCTURAL (CE) que dicha alteración trae consigo.

(67)

AE: ...

CE: ... → ...

La evidencia empírica que se ha considerado como prueba de que las gramáticas de las lenguas naturales deben poseer reglas transformacionales es la correlación existente entre dos estructuras en las que observamos que se ha producido alteración de uno o más de sus constituyentes sintácticos sin afectar al significado.

Este estado de cosas se ha observado en un gran número de situaciones. El ejemplo más característico es el que proporcionan las construcciones activas y las pasivas. En los ejemplos siguientes, las oraciones de (a) se denominan, como recordará usted, *oraciones activas*, y las de (b) *oraciones pasivas*:

(68)

a. Un senador compró el coche.

b. El coche fue comprado por un senador.

(69)

a. Los niños comieron las manzanas.

b. Las manzanas fueron comidas por los niños.

Sin entrar en un análisis de las complejidades estructurales o de significado de estas construcciones [...], nos basta con observar que nuestra gramática deberá captar la inversión posicional entre *un - senador* y *el coche* en (68), y *los niños* y *las manzanas* en (69). Las gramáticas tradicionales formulaban de manera intuitiva un proceso que llamaban «volver por pasiva la oración activa», destinado en principio a obtener el mismo resultado. En sus aspectos técnicos, este proceso no siempre estaba bien formulado, pero lo que importa resaltar ahora es que consideraran importante el formularlo.

El análisis estructural de estas oraciones es el que se muestra en (70), donde los números indican la posición secuencial de las categorías pertinentes:

(70)

Det	+	N	+	V _[+trans]	+	Det	+	N
1		2		3		4		5

La regla transformacional toma como INPUT o ADUCTO cualquier secuencia de expresiones que ejemplifiquen el análisis estructural (70). El cambio estructural deberá captar o recoger la inversión posicional

entre 1-2 y 4-5 que se produce como OUTPUT o EDUCTO de la regla. Además, deberá dar cuenta de la alteración que se produce en la forma verbal, que las gramáticas tradicionales describen como el tránsito de las «formas de voz activa» del verbo a las «formas de voz pasiva». El análisis estructural correspondiente a una forma de pasiva es que consta del verbo auxiliar ser, seguido de la forma verbal y la desinencia de participio (*ser* + V + Participio). La regla será, pues, la siguiente:

(71)

$$1 + 2 + 3 + 4 + 5 \rightarrow 4 + 5 + \textit{ser} + 3 + \textit{Partic.} + \textit{por} + 1 + 2$$

La regla que acabamos de formular asocia dos estructuras oracionales mediante una TRANSFORMACIÓN, de lo que se desprende que hay un vínculo derivacional entre ellas, es decir, las estructuras pasivas se derivan a partir de las activas. Visto en términos actuales, (71) no deja de ser un recurso un tanto tosco, sobre todo porque describe un proceso formulado en términos de concatenación de elementos, y no en función de la estructura de los sintagmas, es decir de la~ unidades intermedias entre la la oración. Pero recuerde que nos interesa presentar uno a uno los mecanismos formales de que dispone el análisis gramatical, para luego explicar cómo se evoluciona de unos a otros. El importante cambio que supone pasar de aductos (ingl. *inputs*) formados por concatenación de elementos (1 + 2 + 3 + 4) a otros contruidos por estructuras configuracionales tuvo lugar en la gramática generativa en los años sesenta.

Las reglas transformacionales funcionaban como un algoritmo que identificaba cada uno de los componentes oracionales y, después de ello, proponía una reconfiguración en la que cada elemento se «movía» a una posición diferente. Esto permitía que, a partir de las oraciones simples generadas por las reglas de reescritura, se podían obtener una variedad mayor de otro tipo de oraciones.

Estas reglas algorítmicas tenían la siguiente forma, según el esquema de Gutiérrez y Soriano (2004):

- (10) a. Salto de Afijo (*Affix Hopping*):
 DE: afijo [+V].
 1 2
 Condición: afijo = -r, -ndo, -do, -d-, o aspecto-tiempo-persona-número.
 CE: 1 2 → 2 1.
- b. Pasiva con *ser*:
 DE: SN X V SN pasiva con *ser*.
 1 2 3 4 5
 Condición: ninguna.
 CE: 1 2 3 4 5 → 4 2 *ser* -d- 3 por 1.
- c. Formación de Interrogativas Parciales:
 DE: X (*prep*) [+PI] Y.
 1 2 3 4
 Condición: (otr-) [+N] debe cambiarse con [+PI, +det...]
 CE: 1 2 3 4 → 2 3 1 4.

Figura 5.5: Tres ejemplos de derivaciones de reglas transformacionales (*affix hopping*, pasiva e interrogativa) a partir de la estructura que daría como resultado la oración «Mowgli cazará el tigre». Tomado de Gutiérrez y Soriano (2004, p. 82)

5.3.2. La teoría de principios y parámetros

Para la década de 1980 hubo un cambio radical al interior del generativismo. Recordemos que, en su agenda de investigación, había dos ejes para encauzar los estudios sintácticos: por un lado se buscaba hacer una teoría mentalista e internista que diera cuenta de «qué es lo que saben los individuos que *saben una lengua*»; por otro lado se buscaba resolver el llamado «problema lógico de la adquisición del lenguaje», es decir, cómo es que un niño aprende de manera perfecta su lengua materna, con pobreza de estímulo, sin enseñanza profesional y sin conciencia del sistema lingüístico (Gutiérrez y Soriano, 2004, p. 95).

Durante este periodo los estudios de sintaxis que habían seguido la «moda» del generativismo, estaban centradas en descubrir cuál era el conjunto de reglas transformacionales que operaban al interior de las lenguas.

Sin embargo, el problema era que, para dar cuenta del sistema lingüístico de una sola lengua, la cantidad de reglas transformacionales es gigantesca. Basta con asomarse al apéndice final de «Estructuras sintácticas» para darse cuenta de que es una descripción formal del inglés demasiado compleja.

Eso ponía en un serio conflicto al generativismo: *¿cómo era que un niño, al adquirir su lengua, incluía en su repertorio un número tan absurdo de reglas con un número tan corto de oraciones?, ¿era pertinente la descripción de una lengua con tantas reglas transformacionales que, incluso, comenzaban a no tener lógica en cuanto al planteamiento matemático inicial?*

Incluso, el problema podía acrecentarse sólo con la simple –y profunda– pregunta: *¿es posible seguir una regla?, ¿es posible enunciarla?* Estos planteamientos de

estilo wittgensteniano comenzaban a hacer mella en los cimientos teóricos del generativismo. Además, para este momento histórico, la pragmática postgriceana y neogriceana –como Horn, Levinson y Sperber– cobraba una fuerza impresionante al adoptar, de una buena vez, las ideas de Grice sobre la implicatura y el principio de cooperación que se basaban en eliminar el significado vericondicional –muy en boga entre los semantistas generativistas– lo cual provocaba una seria ruptura entre lingüistas dedicados al sistema de la lengua y lingüistas dedicados al uso contextual de la lengua.

Chomsky y sus seguidores deciden hacer el primer «borrón y cuenta nueva» y, a partir de la publicación de «El conocimiento del lenguaje» (Chomsky, 1986), comienza a proponerse la idea de que un sistema basado en reglas no da cuenta realmente de la adquisición de la lengua materna ni de que es aquello que saben los individuos de su propia lengua.

[...] un modelo de la competencia gramatical de los hablantes que se base en el conocimiento de reglas, como el modelo de *Aspectos de la teoría de la sintaxis*, plantea graves problemas en lo que respecta a la resolución del problema lógico de la adquisición del lenguaje, ya que, dadas las condiciones en las que tiene lugar este proceso («pobreza» de la experiencia lingüística, rapidez, facilidad, uniformidad, etc.) no parece realista suponer que lo que «aprende» el niño que adquiere su lengua materna sean sistemas de reglas. (Gutiérrez y Soriano, 2004, p. 95-96)

La revisión crítica de la teoría estándar en cuanto a que no ofrecía, en realidad, una descripción «adecuada» en cuanto la sintaxis mental continuó hacia sus demás postulados. Esta revisión es relevante en cuanto al tema de esta tesis. La razón de esto, es que muchos de los modelos computacionales que se ofrecen como modelos sintácticos del lenguaje natural siguen basados en sistemas de reglas e identificación de constituyentes inmediatos.

Gutiérrez y Soriano (2004, p. 96-97) en «Introducción a una sintaxis minimalista», hacen un recuento de los contraargumentos hacia las reglas de estructura sintagmática.

(a) Son demasiado numerosas, tanto como las construcciones con las que están vinculadas. [...]

(b) Encierran en una sola fórmula información compleja y de naturaleza dispar. [...] las reglas de estructura sintagmática recogen información categorial, configuracional y sobre el orden de palabras. Una regla transformacional, por su parte, especifica el cambio estructural al que se ve sometida una descripción estructural e incluye, además,

determinadas condiciones de aplicación que, en no pocas ocasiones, afectan exclusivamente a dicha regla.

(c) Pueden generar, *a priori*, expresiones lingüísticas agramaticales dado que se trata de un conjunto variopinto de algoritmos potentes y permisivos [...].

(d) Suelen ser específicas de lenguas particulares [...].

(e) Contienen afirmaciones ad hoc, como la que se refiere a la obligatoriedad o la opcionalidad de las reglas transformacionales [...]

(f) Expresan un contenido que, en buena medida, es redundante [...].

Como se ve, muchas de las operaciones que proponía la teoría estándar eran inapropiadas para los objetivos que buscaba el programa generativista. De inicio, la combinación de conjuntos de reglas ya suponía, de facto, que era un marco teórico demasiado poderoso. Las reglas de reescritura más las reglas transformacionales eran demasiado «poderosas», lo cual dentro del generativismo, se entiende que creaban oraciones agramaticales debido a que una oración simple gramatical podía fácilmente transformarse en una agramatical sin que hubiera un filtro que lo impidiera.

Lasnik y Lohndal (2013, p. 50-52) en «*Brief overview of the history of generative syntax*» explica que:

Nótese que el trabajo de Chomsky y muchos otros ha intentado consistentemente reducir el poder descriptivo del componente transformacional. El marco en *Aspects* es más restringido que el de *LSLT*, y Chomsky (1973) es mucho más restringido que *Aspects*. En los años ochenta, muchos investigadores argumentaron que no deberíamos hacer transformaciones tan generales como *Move α* , o incluso *Affect α* , como en Lasnik y Saito (1984, 1992).

[...]

Se suponía que los filtros debían soportar la carga de dar cuenta de las limitaciones que, en la teoría anterior y mucho más rica, se expresaban en declaraciones de ordenación y obligatoriedad, así como dependencias contextuales que no pueden ser formuladas en el marco más restringido de la gramática central. La hipótesis en Chomsky y Lasnik (1977) fue que las consecuencias del ordenamiento, la obligatoriedad y la dependencia contextual podrían captarse en términos de filtros de superficie. Además, argumentaron que las propiedades antes mencionadas podrían expresarse de manera natural como filtros superficiales que son universales, o bien el caso no marcado.

Vemos que la idea de una distinción entre parámetros y principios ya está presente en Chomsky y Lasnik (1977). Sin embargo, en este marco, sólo hay unos pocos parámetros que afectan a la gramática central.

[...]

Con Chomsky (1981), la concepción de reglas y filtros cambió un poco. La parte relacionada con las reglas permaneció intacta ya que no hay distinción entre reglas y principios. Se asume que ambos son universales y forman parte de la Gramática Universal. Pero en lugar de filtros, que pueden ser tanto específicos del lenguaje como de la construcción, Chomsky sugirió que debiéramos concebir la variación en términos de parámetros (de ahí el nombre de Principios y Parámetros de Teoría, [...]). La siguiente cita resalta la diferencia principal.

Si estos parámetros están embebidos en una teoría de UG [GU] que es suficientemente rica en estructura, entonces los lenguajes que se determinan fijando sus valores de una manera u otra parecerán ser bastante diversos. (Chomsky 1981: 4)

Se supone que los parámetros forman parte de UG [GU] y juntos deben producir tanto la variación que observamos como una respuesta al problema de Platón: ¿Cómo sabemos tanto, dada la limitada evidencia disponible? En el ámbito del lenguaje, la pregunta es cómo el niño puede llegar tan rápidamente a su gramática objetivo dada la entrada que obtiene. Una parte importante de la teoría era que los parámetros se supone que representan grupos de propiedades [...]

Este modelo fue, por lo tanto, una ruptura brusca con los enfoques anteriores, en virtud de los cuales la Gramática Universal especificaba una infinita gama de posibles gramáticas y la adecuación explicativa requería un procedimiento de búsqueda presumiblemente inviable para encontrar el más valorado, dados los datos lingüísticos primarios. El enfoque Principios y Parámetros eliminó todo esto. [...] ¹²

¹² «Note that the work of Chomsky and many others has consistently tried to reduce the descriptive power of the transformational component. The framework in *Aspects* is more restricted than the one in *LSLT*, and Chomsky (1973) is much more restricted than *Aspects*. In the 1980s, many researchers argued that we should make transformations as general as *Move α* , or even *Affect α* , as in Lasnik and Saito (1984, 1992). [...]

Filters were supposed to bear the burden of accounting for constraints, which, in the earlier and far richer theory, were expressed in statements of ordering and obligatoriness, as well as contextual dependencies that cannot be formulated in the narrower framework of core grammar. The hypothesis in Chomsky and Lasnik (1977) was that the consequences of ordering, obligatoriness,

La propuesta de «Principios y parámetros» consiste en que, en la base naturalista del cerebro, existen las distintas posibilidades sintácticas u opciones de formación de frase. El niño, al apropiarse de su lengua materna, va «recableando» estas posibilidades hasta que una queda fija.

Una metáfora que podemos pensar es la idea de que la sintaxis funciona como una operadora telefónica en los primeros años de la telefonía a inicios del siglo veinte. Cuando se le marcaba a la operadora pidiéndole que nos conectara con cierto número, la operadora lo que hacía era conectar el *plug* de nuestra línea con el *socket* de la línea a la que llamábamos –de la misma manera que una guitarra se conecta a su amplificador–.

Después de algún tiempo de «marcar» al mismo número, la operadora dejaba el *plug* conectado en el mismo lugar donde siempre llamamos. Esto, en gramática generativa, se llama que el lenguaje está «*wired in*» (Lasnik y Lohndal, 2013, p. 27).

En esta metáfora, podemos pensar en los *principios* como los *sockets*. Es decir, tipológicamente debe haber únicamente un número limitado de posibilidades sintácticas para todas las lenguas. Los *parámetros* son como los cables que conectan las líneas telefónicas: cada lengua «parametriza» cual es el principio a elegir.

and contextual dependency could be captured in terms of surface filters. Furthermore, they argued that the above- mentioned properties could be expressed in a natural way as surface filters that are universal, or else the unmarked case.

We see that the idea of a distinction between parameters and principles is already present in Chomsky and Lasnik (1977). However, in this frame- work, there are only a few parameters that affect the core grammar. [...]

As Chomsky and Lasnik (1977:442) point out, this filter is a ‘dialect’ filter, meaning that it is not a principle of Universal Grammar. They discuss a range of filters, and some of them are like (55) in being outside of core grammar, whereas others, like the Stranded Affix filter of Lasnik (1981b), are argued to be part of Universal Grammar. With Chomsky (1981), the conception of rules and filters changed some- what. The part related to rules stayed intact, since there is no distinction between rules and principles. Both are assumed to be universal and part of Universal Grammar. But instead of filters that can be both language- and construction-specific, Chomsky suggested that we should conceive of var- iation in terms of parameters (hence the name Principles and Parameters Theory; see Chapter 4). The following quote brings out the main difference. If these parameters are embedded in a theory of UG that is sufficiently rich in structure, then the languages that are determined by fixing their values one way or another will appear to be quite diverse. (Chomsky 1981:4) The parameters are assumed to be part of UG and together they should yield both the variation we observe and an answer to Plato’s problem: How do we know so much given the limited evidence available to us? In the realm of language, the question is how the child can arrive so rapidly at its target grammar given the input it gets. An important part of the theory was that parameters were supposed to represent clusters of properties[...]

This model was therefore a sharp break from earlier approaches, under which Universal Grammar specified an infinite array of possible gram- mars, and explanatory adequacy required a presumably unfeasible search procedure to find the highest-valued one, given primary linguistic data. The Principles and Parameters approach eliminated all this.» *La traducción es mía*.

Como ejemplo de principio y parámetro podemos poner al inglés y al español en su característica de «*pro drop*». Este parámetro indica si es posible eliminar dentro de la oración el agente.

Comparemos lo siguiente:

- (5.6) a. They eat meat
b. *eat meat
c. Ellos comen carne
d. Comen carne

Como vemos, b. es agramatical en inglés aunque d. no es una oración agramatical en español. La única razón es que el inglés no permite la eliminación del *pro*, mientras que el español, por la riqueza morfológica del verbo, si lo permite. Es decir, en una estructura profunda podemos suponer que la formulación de la oración es [*pro*[comen carne]].

La propuesta de reconocer principios universales, parametrizados según la lengua, no solo se respaldaba en los estudios tipológicos y sintácticos de diversas lenguas –hay que recordar que una de las críticas a la teoría estándar era que sus ejemplos estaban basados en lenguas indoeuropeas–; además, reforzaba la idea de que existía una Gramática Universal, la cual consistiría en el conjunto total de los principios.

La teoría de principios y parámetros se fue solidificando a lo largo de la década de 1980. Gutiérrez y Soriano (2004, p. 107-109) hace un recuento de los «pilares» teóricos de la teoría de «principios y parámetros»:

a) Se considera, en primer lugar, que una gramática está compuesta por cuatro componentes básicos: un léxico, una sintaxis, que combina las piezas léxicas para formar sintagmas y oraciones, y dos componentes interpretativos, la Forma Fonética y la Forma Lógica [...]

b) El componente sintáctico cuenta, en segundo lugar con dos tipos de mecanismos distintos (en este caso las operaciones Satisfacer y Muevase- α) que están diseñados con el fin de captar las dos propiedades centrales de la combinatoria de las palabras: la propiedad de formación de frases y la propiedad de desplazamiento, respectivamente.

c) Se supone, por último, que los componentes interpretativos fonético y semántico son independientes.

Dichos pilares teóricos se conservarán, de manera reduccionista, en el «programa minimalista».

Dados estos axiomas teóricos, el esquema de la facultad del lenguaje puede esquematizarse como:

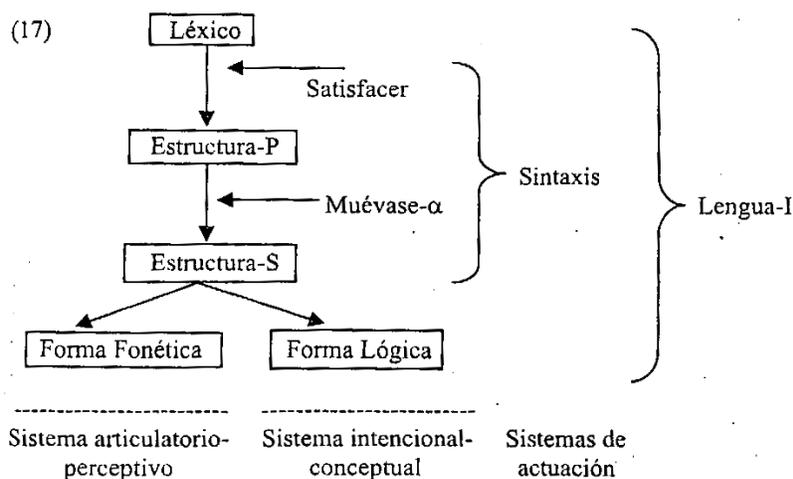


Figura 5.6: Esquema de la facultad del lenguaje en la teoría de «principios y parámetros». Tomado de Gutiérrez y Soriano (2004, p. 103)

5.3.2.1. Teorías al interior de «principios y parámetros»

Vale la pena hacer una revisión rápida de las teorías que fueron elaboradas durante el desarrollo de la «teoría de principios y parámetros» ya que «el programa minimalista» comparte dichas teorías como una extensión teórica.

Hay que hacer hincapié en que quede bien delimitada la diferencia que puede surgir con la palabra *teoría*. Como señalan Bosque y Gutiérrez-Rexach (2009) en «Fundamentos de sintaxis formal», la palabra «*teoría*» puede referirse por lo menos a tres cuestiones. Por una parte, puede referirse a «un dominio común como objeto de investigación» (Bosque y Gutiérrez-Rexach, 2009, p. 60), es decir, la teoría sintáctica es llamada así por ser un dominio, una disciplina, un marco teórico para la investigación de la sintaxis.

La palabra *teoría*, dentro de la gramática generativa, también puede referirse a «lo que técnicamente se denomina paradigma de investigación científica. Una teoría es, desde este punto de vista, un conjunto de patrones explicativos, procedimientos y conjuntos de hipótesis formuladas con una misma orientación» (Bosque y Gutiérrez-Rexach, 2009, p. 59). Este es el sentido en que *teoría* es utilizado para indicar paradigmas como «estándar», «principios y parámetros» o «minimalista».

El término teoría que nos interesa es aquél que se usa al interior de cada uno de los paradigmas teóricos. Entonces «el término teoría en estos contextos se relaciona precisamente con lo que acabamos de indicar: un conjunto de hipótesis sobre un dominio empírico concreto de la sintaxis».

Dicho esto, las teorías al interior de la «teoría de principios y parámetros» son las hipótesis que fueron formulándose con base en ejemplos y contraejemplos sintácticos.

Revisaré de manera somera y superficial dichas teorías únicamente con el fin de asociarlas con los principios expuestos en la sección siguiente y entender cual es la novedad en «el programa minimalista».

Las teorías principales que surgieron en el marco de «principios y parámetros son las siguientes»:

- (i) la Teoría de la X con Barra, que restringe el formato de las estructuras sintagmáticas;
- (ii) la Teoría Temática, que regula la representación sintáctica de las redes argumentales de los predicados;
- (iii) la Teoría del Caso (abstracto), que da cuenta de las posiciones en las que puede aparecer un SN con una realización fonética en la estructura;
- (iv) la Teoría del Alindamiento (o acotamiento), que impone condiciones de «localidad» sobre los movimientos sintácticos;
- (v) la Teoría del Ligamiento, que estudia las relaciones de correferencia que entablan entre sí los distintos tipos de expresiones referenciales en el marco de la oración;
- (vi) la Teoría del Control, que se ocupa de las realizaciones de correferencia del sujeto fonéticamente no realizado de una oración sin tiempo (PRO) y su antecedente. (Gutiérrez y Soriano, 2004, p. 111-112)

Durante el desarrollo de la fase de Principios y Parámetros, estas teorías serían desarrolladas con gran celo, buscando contraejemplos que las desestimaran. El problema surgiría al comenzar a notar que estas teorías, aunque explicaban bien la adquisición del lenguaje, no cumplían cabalmente con la idea de ser «adecuadas explicativamente». Es decir, las explicaciones por teorías en PyP no explicaban a ciencia cierta cómo es que funcionaba la gramática universal y, además, provocaba serios problemas en explicar cuestiones semánticas –las ambigüedades, por ejemplo–.

En «La Gramática Universal en el Programa Minimalista», Gutiérrez (2014, p. 38-39) explica esto:

Un paso previo que la Teoría P&P da para tratar de alcanzar el requisito de «adecuación explicativa» de la teoría es concebir el conocimiento gramatical de los hablantes no como un sistema de reglas, como se hacía en *Aspectos de la teoría de la sintaxis* (1965), sino como la interacción de las propiedades del léxico que se proyectan en la sintaxis con principios de buena formación de las derivaciones y las representaciones. La razón de este cambio reside en que, mientras que las piezas léxicas de una lengua han de ser en todo caso aprendidas, no parece probable que aprender la lengua materna, en las condiciones en que ello se produce (sin instrucción aparente, en un corto período de tiempo y de manera uniforme para todos los miembros de la especie), pueda consistir en adquirir reglas que a menudo son exclusivas de cada lengua e incluyen una información idiosincrásica, heterogénea o redundante.

Una vez sustituidos los sistemas de reglas por la combinación de rasgos léxicos sintácticamente activos y principios de buena formación como modo de caracterizar el conocimiento gramatical, la Teoría P&P intenta resolver la versión lingüística del «problema de Platón» atribuyendo un rico contenido a la GU. La idea es que se puede reducir la distancia entre la pobreza de los estímulos lingüísticos que el niño percibe en su entorno y la riqueza del conocimiento lingüístico que “crece” en su mente si suponemos que dicho conocimiento está en buena medida predeterminado de manera innata.

La Teoría P&P propugna, a este respecto, que la GU contiene, en primer lugar, un buen número de principios que restringen las propiedades de las gramáticas, como, por ejemplo, los axiomas de la Teoría de la X con barra, que regulan la buena formación de las estructuras de frase, las condiciones de la Teoría Temática, que afectan a las estructuras argumentales de los predicados, el Filtro del Caso, con el que se da cuenta de los contextos sintácticos en que aparecen las expresiones nominales, el Principio de Proyección Ampliado, que establece que todas las oraciones deben tener un sujeto, o el Principio de las Categorías Vacías, que limita los “movimientos” de unidades léxicas y sintagmas desde las posiciones en que se interpretan semánticamente a las posiciones en que se pronuncian.

Como podemos apreciar, el proyecto de «principios y parámetros» era extremadamente ambicioso en cuanto a las capacidades del cerebro humano y su memoria. «Principios y parámetros» propone que existen una serie de «leyes universales» las cuales deben estar contenidas en algún lugar de la mente humana. Como vimos

en la «Teoría estándar extendida», pensar en que la mente puede contener una serie de reglas las cuales se conservan íntegras es insostenible. Gutiérrez (2014) continúa su exposición:

Junto con principios invariables como los mencionados, para explicar la diversidad lingüística, la Teoría P&P sostiene que forma igualmente parte de la GU una serie de parámetros de variación sintáctica, u opciones abiertas entre valores determinados de manera innata cuya fijación puede tener repercusiones sistemáticas en otros aspectos de la gramática de una lengua, como, entre otros, el Parámetro de la Posición del Núcleo, que recoge el hecho de que los núcleos preceden a sus complementos en unas lenguas y los siguen en otras, el Parámetro del Sujeto Nulo, que divide las lenguas entre las que admiten sujetos elididos y las que los rechazan, o el Parámetro del Movimiento Cu, que distingue entre las lenguas en que los pronombres y adverbios interrogativos se sitúan al principio de la oración y aquellas en las que permanecen *in situ*. Pero no es esto todo. En esta segunda etapa de la lingüística chomskiana, la GU contiene además, como en *Aspectos de la teoría de la sintaxis* (1965), un inventario de rasgos o propiedades universales, aporta también una operación (“muévase α ”), que reemplaza a las transformaciones de movimiento de la Teoría Estándar, y especifica incluso cuál es la arquitectura del sistema gramatical (cf. Chomsky, 1981).

En la Teoría de los Principios y los Parámetros, en conclusión, la Gramática Universal está claramente sobredimensionada. El panorama será muy distinto en el Programa Minimalista. Como se verá a continuación, la adopción de una perspectiva minimalista sobre las propiedades de la facultad del lenguaje traerá necesariamente consigo la infraespecificación del contenido de la GU.

Como menciona Gutiérrez, el problema de postular tantas teorías es que la gramática universal estaba «sobredimensionada». Se estaba cayendo de nueva cuenta en el problema que habían provocado las transformaciones al interior de la teoría estándar: eran tan numerosas y complejas que era insostenible que existieran, siquiera, en la mente humana, se trataban, tan solo, de parámetros teóricos de análisis pero no de descripción.

Se necesitaba un nuevo marco teórico que diera cuenta de lo que realmente ocurría en la mente del hablante. Y, especialmente, un marco que estuviera anclado con lo que sabemos acerca de la constitución tanto del cerebro como la mente humana. Ese marco es «el programa minimalista».

5.4. El programa minimalista

El programa minimalista no se considera un cambio de paradigma generativista. La idea que subyace al proponer una nueva etapa generativista es que, aunque se mantienen los axiomas principales del generativismo –especialmente de Principios y Parámetros–, se cambia el objetivo de investigación y se hace una revisión crítica de los resultados de las etapas anteriores.

[...] la lingüística chomskiana constituye un programa de investigación, en el sentido que el filósofo de la ciencia Imre Lakatos da a este término, organizado en torno a un “centro firme” invariable: la adopción de un enfoque biolingüístico según el cual las lenguas son estados de la mente de los individuos, “órganos mentales”, cuyo estudio debe ser abordado haciendo uso de los mismos criterios y procedimientos con que las ciencias naturales estudian los objetos del mundo. Internismo y naturalismo metodológico son, pues, dos componentes nucleares del programa de investigación chomskiano, a los que hay que añadir un tercero: la concepción computacional del sistema cognitivo lingüístico, la idea de que el conocimiento lingüístico de los individuos consiste en algoritmos u operaciones que manipulan “representaciones” mentales formadas por unidades simbólicas portadoras de información. (Gutiérrez, 2014, p. 36)

En el programa minimalista se conserva la idea de una «gramática universal». Sin embargo, la idea es su caracterización y no su adquisición. El programa minimalista busca dar cuenta de «¿por qué las propiedades del lenguaje son las que son?» (Gutiérrez, 2014, p. 39).

Otra de las cuestiones a las que apunta el minimalismo –como indica Gutiérrez (2014)– es que se adopta un enfoque biolingüístico. Es decir, se busca que la teoría lingüística sea coherente con la realidad natural. Dicho esto, es necesario que la teoría del lenguaje que se postule tenga relación con los mecanismos neurológicos que conocemos hasta el momento. El lenguaje y su soporte deben estar intrínsecamente relacionados. Es la discusión que apuntaba en el capítulo anterior acerca de los estudios de la mente sin desligar el cerebro. El lenguaje, al concebirse como un «órgano mental» –es decir, la comunión *cerebro-mente*– debe estar ligado tanto a modelos cognoscitivos como a modelos biológicos del funcionamiento natural del cerebro humano.

El problema básico al que se enfrentaron los generativistas a inicios de este siglo fue que, dada la configuración neuronal del cerebro, un proceso subconsciente como la sintaxis debería en sí, no seguir un sistema de reglas sino debería ser algorítmico.

Por otro lado, al postular que la sintaxis humana procede de ciertas propiedades de la comunicación animal, posiblemente desarrolladas por una mutación que afectó a nivel cognoscitivo, la facultad del lenguaje es heredable. Esto supone un problema ya que la cantidad de información del algoritmo propuesto debe ser extremadamente mínima como para ser transmitida de generación en generación.

Esta es la razón de que se conozca como «minimismo» o «minimalismo» si es posible, de un solo rasgo.

La reducción estaría en la búsqueda de una gramática universal de rasgos mínimos –si es posible, de un solo rasgo– la cual combinaría rasgos mínimos en los niveles de la lengua: ya no «palabras» sino morfemas; no fonemas sino rasgos articulatorios. En «La gramática universal en el programa minimista», Gutiérrez (2014, p. 36) indica que:

[...] el Programa Minimista (PM) aboga por una drástica reducción de la GU, que incluiría ahora, en esencia, un conjunto de propiedades o rasgos (fonéticos, formales y semánticos) y una sola operación computacional de ensamble (*Merge*), que agrupa las unidades léxicas formadas con tales rasgos y genera de este modo unidades sintagmáticas estructuradas.

Se plantea entonces la idea de una gramática universal infraespecificada de manera que incluya una sola función de ensamble –la llamada «*Merge*» o «fusión»– y una serie de suboperaciones que complementen la unión de las unidades sintácticas.

¿Es posible construir una gramática de una sola regla de manera que pueda ser heredada?, esa es una de las ideas centrales del Programa Minimalista.

El programa minimalista propone una serie de cuestiones teóricas que muchos generativistas «clásicos» decidieron no continuar. Muchas de estas cuestiones y postulados consisten en volver a un trasfondo teórico formal ligado a las matemáticas, la preponderancia de la semántica o la inclusión de la pragmática y la lengua de uso en lugar de la introspección. Debido al espacio de este texto, no podré explorar dichas propuestas.

5.4.1. El enfoque biolingüístico y naturalista

El programa minimalista busca «ofrecer una explicación fundamentada basada en principios de, al menos, una parte sustancial de las propiedades del sistema cognitivo lingüístico» (Gutiérrez, 2014, p. 40). Existe una preocupación real por parte de los minimistas –los generativistas asociados al programa minimalista– en cuanto a formular teorías sintácticas que mantengan un correlato con la realidad natural. Es decir, toda propuesta en cuanto al funcionamiento de la sintaxis debe

tener relación directa ya sea con la constitución del cerebro o con los mecanismos de la genética.

La propuesta del PM a este respecto es que los principios que explican por qué determinadas propiedades de la facultad del lenguaje son las que pertenecen, en concreto, al denominado “tercer factor”, en el que se incluyen condiciones no específicas de la facultad del lenguaje (e independientes incluso del organismo) que intervienen, junto con la dotación genética (la GU) y la experiencia lingüística, en la adquisición del lenguaje (cf. Chomsky, 2004a, 2004b, 2005, 2007, 2008, 2010; Berwick y Chomsky, 2011). La idea minimista de que ciertos principios no específicos del lenguaje desempeñan un papel determinante en su diseño y adquisición surge –no se debe pasar esto por alto– del “centro firme” de la lingüística chomskiana, el enfoque biolingüístico del lenguaje y las lenguas: Si se asume que la facultad del lenguaje tiene las mismas propiedades que otros sistemas orgánicos, se puede perfectamente establecer un paralelismo entre los factores que se cree que entran en juego en el desarrollo y la evolución de los organismos y los implicados en el “crecimiento” del “órgano del lenguaje” en los individuos. (Gutiérrez, 2014, p. 40)

La idea de que debemos partir desde la biología se considera uno de los principios de llamado «tercer factor» –es decir, «condiciones no específicas de la facultad del lenguaje (independientes incluso del organismo)» (Gutiérrez, 2014, p. 40)–. Es decir, no se puede descartar la configuración biológica de los seres humanos para plantear ciertas cuestiones de su pensamiento además de la forma en la que están constituidas las lenguas humanas.

Los tres componentes del modelo minimista de adquisición del lenguaje (la GU, los estímulos lingüísticos del entorno y las condiciones externas) se corresponderían, así, con los tres factores que Jacques Monod, en *Le hasard et la nécessité* (1970) o Stephen Gould, en *The structure of evolutionary theory* (2002), identifican en la evolución de las especies: a) la información genética (canales del desarrollo pre-determinados, mutaciones al azar), b) la selección natural (la adaptación a las presiones ambientales) y c) restricciones estructurales, leyes generales de la física o de la química que limitan la variedad y la forma de los organismos y los sistemas complejos, como el hecho, por poner un ejemplo ilustrativo, de que sea casi imposible emplear en el mundo orgánico ruedas para la locomoción debido a las dificultades físicas que entraña proporcionar control nervioso y suministro de sangre a

un objeto rotatorio (cf. Berwick y Chomsky, 2011: 22). Noam Chomsky aplica, por tanto, el modelo tripartito de la evolución propuesto por la biología moderna al estudio de las propiedades de la facultad del lenguaje. (Gutiérrez, 2014, p. 40)

En ese sentido, es que se postula que la gramática universal posee «buen diseño» o posee «perfección». Esta valoración no es estética: la idea es que la gramática universal está «bien adecuada» –dado su soporte «la mente-cerebro humano»– donde puede funcionar con eficacia.

Por otro lado, el «tercer factor» tiene otro tipo de principios los cuales se conocen como de «computación eficiente». La idea de esto consiste en que, al tomar a la mente como un sistema modular-computacional, deben existir las condiciones para que pueda operar un algoritmo en él.

El segundo tipo de principios del tercer factor que, según Noam Chomsky, explica por qué la facultad del lenguaje tiene las propiedades que tiene son las condiciones de computación eficiente que el sistema cognitivo lingüístico debe respetar en tanto que sistema computacional, unas condiciones que afectan a cualquier sistema de esta índole y que son, por tanto, no solo extralingüísticas, como los principios de arquitectura estructural, sino también externas al organismo.

[...]

la lingüística chomskiana se reafirma en su “centro firme”, profundiza en la concepción internista y computacionalista del lenguaje que, como señalaba en la introducción, ha mantenido a lo largo de toda su historia: Solo partiendo de la premisa de que las lenguas son estados de la mente de naturaleza computacional se puede buscar la explicación de sus propiedades en la interacción del sistema cognitivo lingüístico con otros sistemas mentales o en características propias de los sistemas computacionales. (Gutiérrez, 2014, p. 42)

Cualquier teoría postulada por el minimalismo debe, cuando menos, estar sustentada en la idea de que, en un nivel de abstracción, las operaciones sintácticas son cálculos u operaciones cuyo soporte no es electrónico sino meramente biológico.

5.4.2. Algunas definiciones formales

Dado que existe cierta preocupación por las condiciones de eficiencia computacional, el minimalismo ha optado por la formalización matemática.

En una suerte de «borrón y cuenta nueva», el programa minimalista derriba de una buena vez la idea de la *sintaxis como un autómata* para elaborar nuevas reformulaciones, esta vez, de naturaleza algorítmica.

Con esto en mente mostraré una serie de formalizaciones que explican la propuesta teórica del programa minimalista las cuales parten de la teoría de conjuntos básica las cuales «se simplificaron para facilitar la evaluación computacional, pero aquí hacemos un esfuerzo para permanecer cerca de las formulaciones principales.» (Collins y Stabler, 2016, p. 1)

Dichas formulaciones parten del artículo «A formalization of minimalist syntax» de Collins y Stabler (2016) del cual recomiendo su lectura ya que omitiré las explicaciones de sus definiciones para centrarme en el aspecto formal.

Definición 1. La gramática universal es una séxtupla: <FON, SINT, SEM, select, merge, transfer>

[...]

Definición 2. Un ítem léxico es una tripleta de tres conjuntos de rasgos,

LI= <Sem, Sint, Fon>

donde Sem \subset SEM, Sint \subset SINT, y Fon \subset FON.

[...]

Definición 3. Un lexicón es el conjunto de todos los ítems léxicos.

[...]

Definición 4. Un lenguaje-I es un par <LEX, UG> donde LEX es el lexicón y UG es la gramática universal.

[...] ¹³

Como podemos apreciar, se conserva la idea generativista clásica de que las operaciones sintácticas se elaboran a partir de dos módulos. Por un lado el módulo de la sintaxis y por otro lado el lexicón. Esto constituiría el llamado «lenguaje-I».

El lexicón se caracteriza como un conjunto al cual pertenecen todos los objetos mentales conocidos como «ítems léxicos» los cuales son únicamente subconjuntos que incluyen rasgos semánticos, sintácticos y fonológicos.

Los ítems léxicos, al estar caracterizados como subconjuntos, pueden no contener sus tres rasgos elementales: un ítem léxico puede poseer interpretación sintáctica y semántica pero no tener rasgos fonológicos. En el caso de PRO, esto sería característico.

Por otro lado, podemos ver que la «gramática universal» es sencillamente un conjunto de seis elementos: tres subconjuntos de rasgos y tres conjuntos de

¹³«Definition 1. Universal Grammar is a 6-tuple: <PHON, SYN, SEM, Select, Merge, Transfer> [...] A lexical ítem is a triple of three sets of features, LI = <Sem, Syn, Phon> where Sem \subset SEM, Syn \subset SYN, and Phon \subset PHON. [...] Definition 3. A lexicon is a set of lexical ítems. [...] Definition 4. An I-language is a pair <LEX, UG> where LEX is a lexicon and UG is Universal Grammar.» *La traducción es mía.*

operaciones universales (Collins y Stabler, 2016, p. 1). Es decir, la gramática universal incluye los rasgos a interpretar de los ítems léxicos y tres operaciones de combinatoria.

En este caso, se incluyen tres operaciones de combinatoria: «*select*» –que es la operación que reúne los rasgos de los ítems léxicos para su derivación–, «*Merge*» –la operación que une dos objetos sintácticos en un solo objeto– y «*transfer*» –la operación que «mapea» o transfiere las construcciones de «*Merge*» hacia la interpretación fonológica o semántica–.

Definición 5. Un token léxico es un par $\langle LI, k \rangle$ donde LI es un ítem léxico y k es un entero.

[...]

Definición 6. Un «array» lexico (LA) es un conjunto finito de tokens léxicos.

[...]

Definición 7. X es un objeto sintáctico si y solo si:

i. X es un token léxico.

ii. X es un conjunto de objetos sintácticos.

[...]

Definición 8. Sean A y B objetos sintácticos, entonces B inmediatamente contiene a A si y solo si $A \in B$.

[...]

Definición 9. Sean A y B objetos sintácticos, entonces B contiene a A si y solo si

i. B inmediatamente contiene a A, o

ii. Por algún objeto sintáctico C, B inmediatamente contiene a C y C contiene a A.

[...](Collins y Stabler, 2016, p. 3)¹⁴

Estas formalizaciones indican las relaciones sintácticas entre los elementos del conjunto del lexicón. Se hace una distinción entre el «token» y el «array» para distinguir operaciones donde existen ítems léxicos similares, por ejemplo:

(5.7) El niño₁ vio al niño₂

¹⁴«Definition 5 . A lexical item token is a pair $\langle LI, k \rangle$ where LI is a lexical item and k is an integer. [...] Definition 6. A lexical array (LA) is a finite set of lexical item tokens. [...] Definition 7. X is a syntactic object iff i. X is a lexical item token, or ii. X is a set of syntactic objects. [...] Definition 8. Let A and B be syntactic objects, then B immediately contains A iff $A \in B$. [...] Definition 9. Let A and B be syntactic objects, then B contains A iff i. B immediately contains A, or ii. For some syntactic object C, B immediately contains C and C contains A.» *La traducción es mía.*

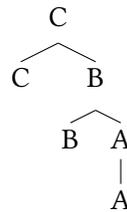
Donde tenemos dos tokens similares: «niño». Sin embargo, uno está en una posición sintáctica de nominativo, mientras que el otro se encuentra en la de acusativo. A pesar de que el token es el mismo, semánticamente refiere a dos entidades diferentes. Dentro del «array» de dicha oración, se selecciona dos veces el token, pero semántica y sintácticamente no son el mismo.

En cuanto a las relaciones sintácticas, se definen como conjuntos. Consideremos A, B y C, los cuales son tanto elementos como tokens. Cada uno pertenece al conjunto {A}, {B} y {C} de tal forma que $A \in \{A\}$, $B \in \{B\}$ y $C \in \{C\}$; y además $\{A\} \in \{B\}$ y $\{B\} \in \{C\}$.

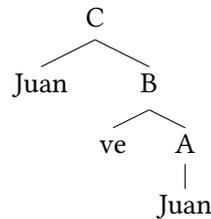
Esto plantearía que el objeto sintáctico «prototípico» tendría la forma:

$$\{C\{B\{A\}\}\}$$

de tal suerte que



o, usando los tokens léxicos $Juan_1$, $Juan_2$, ver para ejemplificar



La propuesta del programa minimalista consiste en que esta operación no puede ser lineal. Utilizando una metáfora: *los ítems léxicos no caen como «piezas de Tetris» en el objeto sintáctico*. Por ello se propone un espacio teórico conocido como «workspace» o «pizarra de trabajo» que es la «antesala» del lexicón para acomodar los tokens en un objeto sintáctico. Veamos la formalización del «workspace» dada por Collins y Stabler (2016, p. 4)

Definición 10. Una fase (de la derivación) es un par $S = \langle LA, W \rangle$, donde LA es el «array» léxico y W es un conjunto de objetos sintácticos. En cada fase S, podemos llamar a W el «workspace» de S.

[...]

Definición 11. Para cada objeto sintáctico X y cada fase $S = \langle LA, W \rangle$ con un workspace W, si $X \in W$, X es una raíz en W. Cuando X es

una raíz diremos que, simplemente, esa X no está dominada por W o, cuando W es interpretada, simplemente X no está dominada.

[...]

Definición 12. Sea S una fase en la derivación $S = \langle LA, W \rangle$; si $LI \in LA$, entonces $Select(LI, S) = \langle LA - \{LI\}, W \cup \{LI\} \rangle$.¹⁵

5.4.3. La operación «Merge»

La operación «Merge» o «fusión» es, probablemente, la propuesta más interesante del programa minimalista –y es por ello que esta tesis está basada en su exploración–. La operación *Merge* reduce la Gramática Universal a una única regla de operación en la cual estaría, hipotéticamente, basada la sintaxis de todas las lenguas. Dicha regla consiste en

tomar dos elementos del conjunto del lexicón y crear un objeto sintáctico nuevo.

Dicho objeto sintáctico podría conjuntarse con otro elemento del lexicón y, de allí, crear otro objeto sintáctico nuevo. Con esta regla, podríamos postular que toda operación sintáctica es, en su base, binaria. Y, aunque es demasiado aventurado, podríamos postular que cualquier operación binaria se da por tomar un elemento y otro elemento diferente que funcione como «predicación» del primer elemento –como sucedería en la relación entre nombre y adjetivo; es decir, entre «definido» y «definición»–.

La razón de proponer una única regla sintáctica es debido al enfoque biolingüístico. Una única regla es coherente genéticamente hablando. Si hemos determinado que los animales poseen la memoria para ubicar un lexicón, el cambio con los seres humanos sería la posibilidad de unir esos elementos de dicho lexicón en oraciones complejas –desde el punto de vista de los seres humanos planteados como animales–.

Una única operación de «fusión» –*Merge*– es coherente genéticamente hablando. Si, hipotéticamente, planteamos que el cambio operacional del lenguaje se dio por una mutación a nivel neurológico, la cual es heredada y se transmite de generación en generación, entonces es insostenible que lo que se herede sea un conjunto de reglas –como en la teoría estándar– o un conjunto de teorías –como en principios y parámetros–.

¹⁵Definition 10. A stage (of a derivation) is a pair $S = \langle LA, W \rangle$, where LA is a lexical array and W is a set of syntactic objects. In any such stage S, we will call W the workspace of S [...] Definition 11. For any syntactic object X and any stage $S = \langle LA, W \rangle$ with workspace W, if $X \in W$, X is a root in W. When X is a root, we will sometimes say simply that X is undominated in W, or when W is understood, simply that X is undominated [...] Definition 12. Let S be a stage in a derivation $S = \langle LA, W \rangle$. If $LI \in LA$, then $Select(LI, S) = \langle LA - \{LI\}, W \cup \{LI\} \rangle$ *La traducción es mía.*

La idea básica que sostiene la sintaxis del lenguaje en el programa minimalista es la capacidad de unir dos conceptos para crear un tercero, más complejo. Si un homínido poseía cierto concepto de «plátanos» y otro concepto de «lejos», al unirlo en «plátanos lejos» no solo podía hablar de conceptos que no estaban presentes, sino aumentaba su capacidad de planear y de transmitir información a sus iguales.

La definición formal de la operación *Merge* de Collins y Stabler (2016) está dictada de la siguiente manera:

Definición 13. Dados dos objetos sintácticos distintos A, B, $Merge(A, B) = \{A, B\}$.

Merge toma dos objetos sintácticos y los combina en un solo objeto sintáctico. Ésta es la operación básica de construcción de la sintaxis. La cláusula de distinción significa que ningún objeto sintáctico A puede fusionarse con sí mismo. En otras palabras, $Merge(A, A)$ es indefinido, aunque diferentes *tokens* de la misma estructura pueden, por supuesto, ser fusionados. En última instancia, la cláusula de distinción explica la falta de proyecciones no ramificadas. [...]

Considere el siguiente ejemplo de combinación. Sean see_j y $John_k$ tokens de ítems léxicos en algún espacio de trabajo W, entonces:

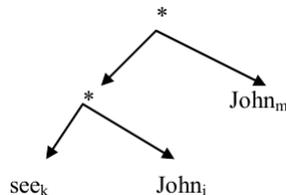
$$(1) Merge(see_j, John_k) = \{see_j, John_k\}$$

El resultado de esta operación, $\{see_j, John_k\}$, no tiene etiqueta de categoría sintáctica (por ejemplo, VP [SV]). El formalismo para las etiquetas se desarrollará a continuación, después de que se define la operación [...] considere el siguiente ejemplo de *Merge*, dado un espacio de trabajo $W = \{\{John_k, see_k\}, John_m\}$:

$$(4) Merge(\{John_k, see_k\}, John_m) = \{\{John_k, see_k\}, John_m\}$$

En esta estructura, hay dos tokens de ítems léxicos que corresponden al elemento léxico "John". Estos tokens de ítems léxicos aparecen en dos posiciones diferentes en la estructura.

Teóricamente, se representa gráficamente como a continuación:



(Collins y Stabler, 2016, pp 5-6)¹⁶

¹⁶«Definition 13. Given any two distinct syntactic objects A, B, $Merge(A,B) = \{A,B\}$ »

Podemos resumir el proceso de *Merge* para tener una visión más clara de su funcionamiento. Del lexicón se selecciona un par de tokens. Dichos tokens son tan solo un conjunto de rasgos los cuales indican con que otro token pueden aparearse binariamente. Supongamos que en el lexicón hay un token A el cual está marcado entre sus rasgos como [+N] y hay un token B que contiene el rasgo [-N] –esto sería típicamente una operación entre nombre y adjetivo–.

Una vez que la operación ha seleccionado tokens con rasgos compaginables, se envían a una interfase conocida como «mesa de trabajo» o *workspace*. En el workspace los tokens sería fusionados mediante la operación merge en forma de $Merge(A, B)$. Una vez que la operación merge los ha fusionado, tendremos un nuevo objeto sintáctico que ya no es ni A ni B, sino su fusión: C. Dicha fusión estaría regida por alguno de sus subcomponentes, con una serie de rasgos –por ejemplo [-V] de manera que pueda fusionarse con otro objeto D si es necesario. El objeto C sería entonces la derivación de $Merge(A, B)$.

Representado en forma gráfica, el proceso sería de la siguiente manera:

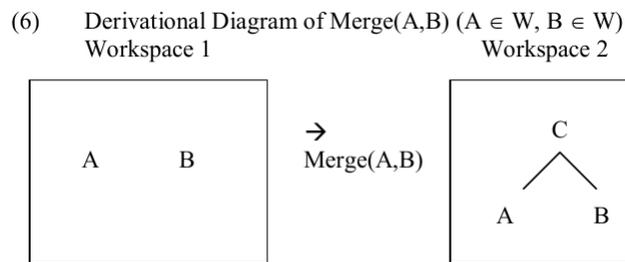


Figura 5.7: Diagrama de una derivación tipo. Tomado de Collins y Stabler (2016, p. 7)

Merge takes two syntactic objects and combines them into a single syntactic object. This is the basic structure building operation of syntax. The distinctness clause means that no syntactic object A can be merged with itself. In other words, $Merge(A, A)$ is undefined, though different tokens of the same structure can of course be merged. Ultimately, the distinctness clause accounts for the lack of non-branching projections. [...]

Consider the following example of Merge. Let see_j and $John_k$ be lexical item tokens in some workspace W, then:

$$(1) Merge(see_j, John_k) = \{see_j, John_k\}$$

The result of this operation, $\{see_j, John_k\}$, has no syntactic category label (e.g., VP). The formalism for labels will be developed below, after the operation of “triggered merge” is defined. [...] consider the following example of Merge, given a workspace $W = \{John_k, see_k, John_m\}$:

$$(4) Merge(\{John_k, see_k\}, John_m) = \{\{John_k, see_k\}, John_m\}$$

this structure, there are two distinct lexical item tokens corresponding to the lexical item “John”. These lexical item tokens appear in two different positions in the structure. Graph theoretically, it is represented as below:» *La traducción es mía.*

5.4.4. La operación «copy».

La operación «*Copy*» se puede clasificar como una subregla de *Merge*. La operación *Move* implica tomar un elemento de uno de los subconjuntos en la estructura y llevarlo a una categoría superior en la construcción del objeto sintáctico.

Esto es, dada una construcción del tipo $\{D \{C \{A, B\}\}\}$, al aplicar $Copy(B)$

$$Copy(B : DCA, B) = BDCA, B$$

La operación *Copy* juega un papel fundamental en la construcción de oraciones no-kernel y en oraciones que no son simples. *Copy* también funciona para la focalización de elementos en la estructura sintáctica que se focalizan al llevar la información nueva a una posición de FOCO y no a su posición sintáctica original.

Considérense las siguientes oraciones:

- (5.8) a. Juan asesinó al presidente con la bandera.
b. Con la bandera, Juan asesinó al presidente.

Incluso, al hacer la pregunta:

- (5.9) c. ¿Con qué asesinó Juan al presidente?
d. ¿Juan asesinó al presidente con qué [^hke:ʔ]?

En los pares de oraciones anteriores, vemos que el hablante tiene posibilidades de elección. Es aquí uno de los puntos donde el programa minimalista admite que la pragmática influye en la forma sintáctica y no al revés. La elección de colocar al sintagma prepositivo –el complemento circunstancial de instrumento– no está motivada más que por la importancia de la información transmitida.

En el ejemplo c. y d. su forma sintáctica está igualmente regida por el contexto en el que son enunciadas y por la importancia de la información. Aunque ambas preguntan por «la bandera», en c. esta información está focalizada al ser enviada al frente de la oración –el hablante enfatiza que quiere conocer el instrumento–.

El caso de d. es aún más interesante. Tenemos un *acto de habla indirecto*: la forma sintáctica corresponde a una pregunta, pero la fuerza ilocutiva es la de una exclamación –es por ello que he marcado una [e] larga al final–. El dejar de usar *Copy*, para el hablante, reafirma su estado de sorpresa y exclamación. Además de todo, d. es una oración «ecóica»; es decir, su forma sintáctica es exactamente igual a la de su interlocutor lo que implica que la sintaxis, en este modelo, es dialógica.

Regresando a la operación *Copy*, es importante notar que en este modelo sintáctico las cosas *se copian* y no *se mueven*. Una de las razones es por simple lógica de teoría de conjuntos. Un elemento de un subconjunto no puede pertenecer a dicho

subconjunto y, al mismo tiempo, pertenecer al conjunto en la jerarquía superior –si fuera así, nos llevaría a la «paradoja de Russel»¹⁷–.

Copy también implica que los elementos en la estructura sintáctica oracional siempre están presentes. Es decir, están «mapeados» en la estructura profunda pero no son valorados o interpretados en el módulo semántico o fonológico. Esto implica que en la oración b. la estructura profunda «mapeada» sería:

Con una bandera Juan asesinó al presidente [con una bandera].

Es decir, el complemento circunstancial es interpretado en su posición de FOCO pero no en la posición que le corresponde aunque *esté allí*.

Esto implica dos cosas. En primera soluciona algunos problemas de anáforas y catáforas que se habían planteado en «principios y parámetros»; además de explicar los elementos no interpretados como PRO en las lenguas pro-drop –como es el caso del español–.

Por otro lado, tanto *Merge* como *Copy* implican que se abandona la estructura en árbol propuesta en la «teoría de x-barra» para postular una estructura plana y lineal.

En el libro «Bare syntax», Boeckx (2008) indica lo siguiente sobre *Copy* y *Merge*.

Ahora es común en la literatura minimalista considerar el «movimiento» como una de las posibles instancias de *Merge*. La fusión [Merge] es el proceso sintáctico fundamental que toma dos elementos, α y β , y los combina en un conjunto α, β . Los elementos «movidos» son, simplemente, elementos que se han fusionado de nuevo. Primero tuvieron que ser fusionados para formar parte de la derivación. En segunda instancia, *Merge* les permitió entrar en una relación sintáctica con múltiples elementos no adyacentes en la misma derivación. En los primeros tiempos del minimalismo (Chomsky 1993, 1995), esta visión del movimiento como (re)Merge fue capturada en términos de copia [*copying*]. Un elemento movido fue visto como una copia del elemento originalmente fusionado que se había fusionado de nuevo (típicamente) más arriba en el árbol, como se esquematiza en (1).

(1)

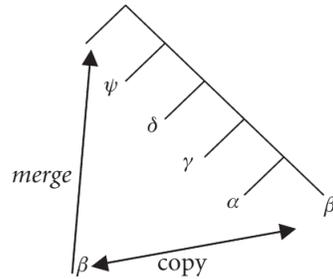
a. Fusione α y β formando α, β .

b. Siga construyendo el árbol, agregando elementos como γ, δ, ψ .

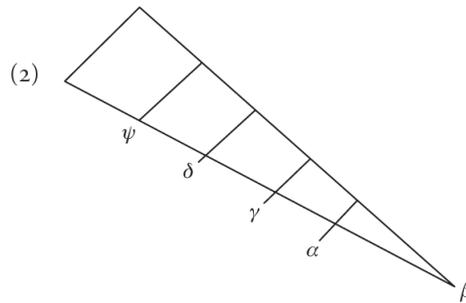
¹⁷Si consideramos el conjunto de todos los conjuntos que no se contienen a sí mismos, ¿está ese conjunto contenido en sí mismo como miembro? Si lo está, por definición no se contiene a sí mismo, luego no lo está. Pero si no lo está, por definición, debe estar.

- c. Copy β .
- d. (re)Merge β a ψ .

En el formato de teoría de conjuntos: $\beta, \psi, \delta, \gamma, \alpha, \beta$.
 En formato de árbol:



Chomsky (2003: 307; 2004) simplificó aún más el concepto de *Move-as-Merge* eliminando el paso de copiado (1c) y permitiendo que el mismo elemento se fusionara varias veces, dando lugar a representaciones como (2). (La representación en (2) es una instancia de multidominancia del tipo explorado por primera vez en un contexto minimalista en Gaertner 2002.)



Chomsky (2004: 110) llamó a la primera instancia de *Merge* de un elemento en particular *Merge Externo*, y la segunda instancia de *Merge* de ese elemento *Merge Interno*, haciendo hincapié en que ambas son instancias de *Merge*, únicamente distinguibles cuando se mira desde su origen. Mientras que β es externo a la derivación antes de ser fusionado a α en (2), es interno a la derivación cuando se fusiona a ψ .¹⁸

¹⁸It is now standard in the minimalist literature to regard Movement as just one of the possible instantiations of Merge. Merge is the most fundamental syntactic process that takes two elements,

5.5. Reflexión en cuanto al Programa Minimalista

En el artículo «Some principles of linguistic methodology», William Labov (1972, p. 99) escribiría:

Podríamos enfocarnos en los diversos métodos disponibles de la lingüística observando la actividad de los propios lingüistas, según dónde se encuentren. En esta búsqueda, encontraríamos lingüistas trabajando en la *biblioteca*, el *arbusto*, el *armario*, el *laboratorio* y la *calle*, y podríamos nombrar cada subdivisión de la disciplina. Pero en este análisis tomaremos un enfoque diferente y examinaremos las materias primas reunidas por cada variedad de lingüística, distinguiendo a cada lingüista por su producto: textos, elicitaciones, intuiciones, experimentos y observaciones. Una discusión completa del método experimental nos llevaría más allá de nuestro alcance actual [...]¹⁹

a and b, and combine them into a set {a, b}. Moved elements are simply elements that have been merged again. They would have to be merged to be part of the derivation. The second instance of Merge made it possible for them to enter into a syntactic relation with multiple, non-adjacent, elements in the very same derivation. In the early days of minimalism (Chomsky 1993, 1995), this view of movement as (re-)Merge was captured in terms of copying. A moved element was seen as a copy of the originally merged element having been merged again (typically) higher up in the tree, as schematized in (1).

- (1) a. Merge a and b, forming {a, b}
- b. Keep building the tree, adding elements like g, d, c
- c. Copy b
- d. (Re-)merge b to c

In set-theoretic format: {b, {c, {d, {g, {a, b}}}}}

[...]

Chomsky (2003: 307; 2004) further simplified the Move-as-Merge view by eliminating the copying step (1c) and allowing the very same element to be merged multiple times, giving rise to representations like (2). (The representation in (2) is an instance of multidominance of the type first explored in a minimalist context in Gaertner 2002.)

[...]

Chomsky (2004: 110) called the first instance of Merge of a particular element External Merge, and the second instance of Merge of that element Internal Merge, emphasizing that both are instances of Merge, solely distinguishable when looked at from their source. Whereas b is external to the derivation prior to being merged to a in (2), it is internal to the derivation when merged to c.

¹⁹ «We might approach the various methods available to linguistics by looking at the activity of the linguists themselves, according to where they can be found. In this search, we would find linguists working in the library, the bush, the closet, the laboratory, and the street, and might so name each sub-division of the discipline. But in this analysis we will take a different approach and examine the raw materials gathered by each variety of linguistics, distinguishing each linguist by his product: texts, elicitations, intuitions, experiments, and observations. A full discussion of the experimental method would carry us beyond our present scope[...]

» *La traducción es mía*.

Para Labov, una forma de percibir la lingüística es observar las actividades metodológicas de los lingüistas en sí. Es decir, se puede hacer lingüística en la *biblioteca* –análisis de corpus, filología–, el *arbusto* –lingüística de campo, lenguas indígenas–, el *armario* –análisis sintáctico, análisis semántico–, el *laboratorio* –fonética acústica, psicolingüística– y la *calle* –variación y cambio, lexicología–.

Visto así, el generativismo sería una actividad «del armario», es decir, procede por medio de la introspección y de la propia lengua del lingüista. Visto así, el generativismo no es antagónico con los demás métodos, sino que es complementario.

La realidad es que el generativismo a partir del siglo XXI se ha tornado en una especie de «enemigo a vencer» por parte de las demás corrientes de estudio lingüístico. Incluso dentro del mismo generativismo hay una lucha interna por determinar cuál es el método de análisis más adecuado –el cual depende, en buena medida, de la etapa teórica desde la cual nos instalemos–.

Labov continúa:

[...] observamos una tendencia silenciosa donde se afirma que casi todas nuestras teorías son variantes notables entre sí, que cada una es verdadera a su manera y que cada quien tiene su propia percepción para contribuir. Pero lo que es encomiable en la religión es contraproducente en la ciencia. Mi propia opinión es que tales teorías equivalentes son variantes triviales y limitarnos a argumentar sus méritos es dedicarse a una búsqueda estética más que científica.

Una de las innovaciones que Chomsky trajo consigo fue la nota de gran seriedad a este tema. Él está claramente interesado en la estructura del lenguaje humano y las capacidades de la mente que lo aprende y no en formas diferentes de ver este asunto. Dado que Chomsky cree que la teoría lingüística no está determinada por los datos (1966), propone una medida de evaluación interna, con suerte isomórfica, que realmente utiliza el aprendizaje del lenguaje. Pero esta medida de simplicidad ha tenido sus dificultades: con frecuencia la usan mal quienes intentan probar que tienen razón y que alguien más está equivocado y, peor aún, hay dudas sobre si realmente ha resuelto algún problema importante (Lakoff, 1970). Aquí la lingüística está en condiciones de beneficiarse del ejemplo de las ciencias desarrolladas. La metodología científica se puede considerar como el procedimiento inverso: tratar de probarse a sí mismo que está equivocado. Es decir, la metodología es una búsqueda cuidadosa y concienzuda de errores en el propio trabajo, siguiendo el principio de Karl Popper (1959) de que las mejores teorías son las más fáciles de desconfirmar. Estar en lo correcto significa que, en realidad, fallaste irremediablemente para

demostrarte que estás equivocado. Es peligroso asignar esta responsabilidad a cualquier otra persona, ya que nadie tendrá el mismo interés personal en esta búsqueda que tú. (Labov, 1972, p. 98)²⁰

Como podemos ver, el desarrollo más importante del generativismo no ha sido las teorías postuladas o sus análisis. El verdadero valor del generativismo ha sido, hasta ahora, la metodología a seguir. El generativismo ha propuesto un método inductivo para proceder como lo haría cualquier ciencia. A partir de allí, se nutre de la búsqueda de contraejemplos que destruyan las teorías formuladas y provoque la búsqueda de nuevas explicaciones.

Esta tesis es un experimento de inteligencia artificial que busca demostrar que, en realidad, es imposible tener una sintaxis de una sola regla. La forma de hacerlo es crear una pequeña «maqueta» de lo que posiblemente ocurre en la mente del hablante al momento de producir o interpretar la gramaticalidad del sistema de su lengua.

El siguiente y último capítulo mostrará este diseño experimental y sus resultados.

²⁰«[...] we observe a quietistic tendency to claim that almost all our theories are notational variants of one another, that each is true in its own way and has its own insight to contribute. But what is commendable in religion is self-defeating in science. My own view is that such equivalent theories are trivial variants, and to confine ourselves to arguing their merits is to engage in an aesthetic pursuit rather than a scientific one. Among the other innovations which Chomsky brought with him was a note of high seriousness in this respect. He is clearly interested in the structure of human language and the capacities of the mind which learns it, not in different ways of looking at the matter. Since Chomsky believes that linguistic theory is under-determined by the data (1966), he proposes an internal evaluation measure, hopefully isomorphic with the one that the language learner actually uses. But the simplicity metric has had hard going; it is frequently misused by those trying to prove that they are right and that someone else is wrong, and there is some question as to whether it has actually resolved any important issues (Lakoff 1970). Here linguistics is in a position to benefit from the example of the developed sciences. Scientific methodology can be thought of as the reverse procedure: trying to prove to yourself that you are wrong. That is, methodology is careful and conscientious search for error in one's own work, following Karl Popper's principle that the best theories are the easiest to disconfirm (1959). To be right means that you have finally abjectly, hopelessly failed to prove yourself wrong. It is dangerous to assign this responsibility to anyone else, for no one will have the same vested interest in this pursuit as you do.» *La traducción es mía.*

Simulación de sintaxis humana en Python

Problema central de la filosofía. Relación de la palabra con el objeto... ¿Qué es una palabra? Un signo arbitrario. Pero vivimos en las palabras. Nuestra realidad, entre palabras, no cosas. No existe cosa tal como una cosa, de cualquier modo; una gestalt en la mente. Entidad... sensación de sustancia. Una ilusión. La palabra es más real que el objeto que representa. La palabra no representa la realidad. La palabra es la realidad. Para nosotros, de cualquier modo. Quizá Dios llegue a los objetos. No nosotros, sin embargo.

– Philip K. Dick. «Tiempo desarticulado».

Existen grandes problemas epistemológicos al describir el sistema de la lengua en la mente del hablante. El primero y posiblemente el más grande, sea determinar si hay una mente –y sus facultades inherentes– y el grado de conciencia de los procesos mentales –aunado a el problema de «la conciencia» en sí–.

Por otra parte, existe un problema para determinar si realmente estamos estudiando realmente el sistema de la lengua o únicamente estudiamos los marcos teóricos acerca del sistema de la lengua. Esto está agravado en cuanto a que, en el estudio de la lengua, el objeto de estudio es la medida también, es «juez y parte».

Además, como lo indica Jonathan Culler (1989) –quien a su vez sigue ideas de Bajtín–, tal vez hayamos hecho todo «al revés». Tal vez la disciplina lingüística debió primero dilucidar los mecanismos del uso de la lengua y, luego de eso, dedicarnos al sistema. El estudio del sistema de la lengua, sin iniciar por la dimensión pragmática, nos puede llevar a perseguir «fantasmagorías» –como apuntó Saussure cuando se refería a los anagramas latinos–.

Dicho esto, este capítulo describe cómo he tomado un objeto de estudio que es absolutamente intangible y abstracto, el cual no se puede estudiar directamente de ninguna forma, y lo he transformado a una forma artificial sintética para determinar la probabilidad de su existencia.

¿Por qué hacer una simulación artificial de la sintaxis?

Al acercarnos a los objetos de la realidad, nos encontramos con que el mundo es demasiado complejo y caótico para nuestra limitada visión humana que quiere reconocer patrones y mecanismos. Existe, como un péndulo, una necesidad de estudiar lo artificial y lo natural para emular uno con el otro. En los manuales de lingüística, el lenguaje parece un todo ordenado. Las oraciones son bellas y sencillas de la forma «El gato come carne», «¿Cuándo vino Juan a la casa?», «El señor que vino ayer dijo que no iría a pagar». La cuestión es muy diferente cuando nos enfrentamos a los hablantes en el campo y todo es variable. Al revisar un corpus o al hacer grabaciones de campo, aparecen factores externos, pragmáticos, sociolingüísticos y psicológicos, que hacen muy difícil nuestro análisis. La naturaleza del lenguaje resulta caótica y demasiado compleja para ser estudiada.

¿Qué podemos hacer? Podemos estudiar cada lengua, cada acto de habla, cada situación comunicativa al igual que cada objeto que cae en el mundo para determinar la teoría de la gravedad. O, podemos hacer una generalización que, aunque no de cuenta de todos los casos, nos ayude cuando menos a intentar predecir qué es lo que va a suceder cada que un hablante dice algo.

Esto puede ser difícil. Cambiemos un momento al ámbito de la física para ejemplificar esto. Sabemos que una pluma y una bola de boliche caen al mismo tiempo en el vacío. Sin embargo, si alguien arroja una pluma y una bola de boliche – desde la torre de Pisa – pensará que la generalización de la gravedad está errada. «Es que estás introduciendo la variable de la resistencia del aire» podríamos decir, «los objetos sí caen al mismo tiempo, pero *solo en el vacío*». La otra persona puede argumentar que eso es *una trampa o un engaño*: no existe una situación natural en la que una pluma y una bola de boliche caigan en un escenario sin aire.

Con una generalización de la sintaxis humana como la que estoy presentando sucede lo mismo. Debe intentar predecir qué va a pasar en la mente del hablante aunque, a veces, tenga que acotar que «sólo ocurre en determinadas circunstancias hipotéticas».

En la lingüística, uno de los problemas es desarrollar abstracciones que den cuenta de la *lengua*, es decir, del sistema lingüístico dentro de la mente del hablante. El gran problema es que sólo podemos acceder al sistema por medio del *habla*, la cual depende de una diversidad de factores contextuales, pragmáticos, socioculturales, extralingüísticos que crean «capas» las cuales impiden el acceso claro al sistema.

La propuesta generativista consiste en dividir el sistema en «módulos» los cuales pueden estudiarse aislados de los demás e, incluso, son tan abstractos que pueden «sustraerse» del cerebro humano y colocarse en otra «mente» para ser estudiados con mayor claridad.

Pero, ¿es esto cierto?, ¿es posible retirar el módulo de la sintaxis a una computadora de manera que siga funcionando a pesar de que ella no posea léxico, conocimiento del mundo, semántica, capacidad de entender actos de habla, fonología, etc?

El trabajo que presento parte de la siguiente hipótesis:

Si existe una función sintáctica binaria, caracterizada por su simpleza, eficiencia y «buen diseño», y tal función es un parámetro universal a las lenguas del mundo, entonces es posible, dada su simpleza, modelarla de manera algorítmica por medio de la programación computacional de manera que construya oraciones gramaticales «bien formadas».

Es decir, plantearé un algoritmo y un programa que simule la forma en la que la sintaxis ocurre al interior de la mente humana. La larga explicación de los capítulos anteriores fue, en realidad, mi método para asentar las restricciones de diseño de este programa computacional. Las restricciones podrían enumerarse de la siguiente manera:

- Debe ser un programa que no sea un autómata de estados finitos ni tampoco una cadena de Markov.
- Debe ser biológicamente adecuado, es decir, el conjunto de instrucciones debe ser mínimo para que pueda transmitirse de forma genética.
- Debe poderse adaptar a la estructura neuronal del cerebro.
- No debe de ser un sistema de reglas, tampoco estar basado en transformaciones.
- Debe poder interconectarse con la semántica, la pragmática y la fonología. Sin embargo, para fines prácticos, lo mejor es que ocurra de forma aislada.
- Debe de crear estructuras gramaticales y ninguna agramatical.
- Debe representar la modularidad del cerebro.
- Debe estar planteado en los parámetros formales dados por el Programa Minimalista.

Estas restricciones teóricas son las que determinarán la forma del programa a presentar. El motivo de incluirlas es que representan con mayor fidelidad aquello que ocurre en el interior de la mente humana.

6.1. Metodología experimental

La metodología puede resumirse en una serie de pasos los cuales explicaré primero de forma breve y después de forma extensa a lo largo de este capítulo.

1. **Realicé una formalización de la función *Merge* en forma de cálculo lambda:** La cuestión básica era convertir la expresión «Tomar dos objetos sintácticos y fusionarlos en un nuevo objeto sintáctico» en una expresión formal. Esto es, en sí, porque mi plan consistía en crear un programa de computación. Si no formalizaba esta expresión, sería casi imposible traducirla a un lenguaje que entendiera una computadora.
2. **Transformé esta formalización a un algoritmo y, después, a un programa en Python.** Un algoritmo es una secuencia de instrucciones que se van cumpliendo una a la vez. Este algoritmo tiene un *input*: ítems léxicos; y un *output*: objetos sintácticos. Diseñé un pequeño programa que hace justamente eso: convertir palabras a oraciones.
3. **Seleccioné un «corpus» el cual consiste en una base de datos de 500 tweets los cuales son extraídos y procesados en tiempo real.** El corpus es, básicamente, los últimos 500 *tweets* que hayan generado los usuarios de la red social Twitter ubicados en la ciudad de México. Estos *tweets* se extraen por minería de datos, se limpian de links, imágenes, *hashtags* y otros elementos extratextuales. Luego se unen en un solo texto el cual se procesa automáticamente identificando la categoría gramatical de cada una de sus palabras.
4. **Debido a que el sistema de etiquetado que clasifica las palabras del corpus no reconoce la transitividad de los verbos y los nombres propios, realicé una segunda base de datos con verbos transitivos e intransitivos, además de nombres propios clasificados como tal.** El sistema de etiquetado para el español es bastante deficiente en cuanto a identificar palabras. Por ello, tuve que hacer otro corpus –en formato csv– el cual contiene nombres propios y verbos con diferente valencia y con diferente número.
5. **Apliqué el algoritmo al corpus para determinar si su funcionamiento era adecuado.** Una vez que tenía el programa y el sistema de minería de datos, corrí el programa. Python extrae los *tweets*, los limpia, y clasifica las palabras. Luego de eso, selecciona palabras al azar y las arroja a un hipotético «workspace». Allí, mediante la operación *Merge* formalizada, Python

crea oraciones nuevas que no estaban contenidas en los *tweets*. Finalmente el programa borra el corpus pero arroja las oraciones recién formadas.

6. **Elaboré una versión modificada de *Merge* que sirviera como la función *Copy***. Dado que *Copy* es solo una versión de *Merge*, volví a aplicar la operación *Merge* con estas nuevas oraciones para copiar elementos dentro de la misma oración.
7. **Modifiqué el algoritmo para producir diferentes tipos de oraciones con el mismo corpus**. Al lograr hacer que *Merge* funcionara con las nuevas oraciones, diseñé un «mapeo» de la estructura profunda de las oraciones recién creadas para crear un nuevo conjunto de oraciones las cuales no eran declarativas simples, sino de otro tipo –interrogativas, reportativas, etc.–.
8. **Comparé mis resultados con otro programa basado en reglas de reescritura de la «Teoría estándar»**. Para determinar la efectividad de mi programa ante otras versiones de la teoría generativista, cree un segundo algoritmo que ocupa reglas de reescritura en lugar de la operación *Merge*. Esto fue con el fin de hacer comparaciones entre las teorías.

A continuación, explicaré cada uno de estos pasos a detalle.

6.2. El funcionamiento sintáctico de *Merge*

Antes de comenzar con la formalización de *Merge*, explicaré su funcionamiento lingüístico para clarificar el modelo. *Esta tesis busca determinar si es posible hacer oraciones con una sola regla básica sin intervención directa por parte del investigador y, por ese medio, establecer si es viable la existencia de una función así dentro de la mente humana. Comenzaré recalcando las características y restricciones de *Merge*.*

Bajo el modelo generativista, el lenguaje se adquiere y no se aprende. Existen algunos argumentos a favor de esta propuesta; por ejemplo, se ha visto que existe un *periodo de ventana* de adquisición del lenguaje donde el niño, por medio de prueba y error, va moldeando la gramática de su lengua materna dentro de su mente. Una vez que el periodo de adquisición del lenguaje termina, es muy difícil aprender una lengua con la misma rapidez y profundidad. Esto nos puede llevar a pensar que hay un mecanismo de adquisición del lenguaje en la mente humana y, dado que es una característica de nuestra especie, pareciera ser que este mecanismo es heredado de generación en generación.

Sin embargo, hasta ahora no hemos podido encontrar evidencia genética que apoye «la herencia de la sintaxis». Sin embargo, tampoco es posible decir que el lenguaje, el rasgo humano por excelencia, es producto de la generación espontánea.

Uno de los caminos que hemos seguido fue buscar isomorfismos fuera de la especie humana para revelar si existen formas de *protolenguaje* en el reino animal. Al igual que la variación entre las especies, el lenguaje parece ser un cambio a nivel cognitivo que hizo a la especie humana fuera más apta para su ambiente. Si es así, el mecanismo de la sintaxis debe ser un solo rasgo cognitivo sencillo –con lo que dejamos fuera la posibilidad de que se hereden conjuntos de reglas o un conjunto universal de principios *precableados*–.

Una de las ramas de la ciencia cognitiva es la inteligencia artificial, la cual puede aplicarse en «generar sistemas inteligentes» pero también en la búsqueda de «qué es la inteligencia». Hacer una simulación de una sintaxis natural en una mente artificial permite ahondar en la búsqueda de esa regla simple, ese rasgo cognitivo sencillo, el cual permite crear conjuntos de oraciones diferentes.

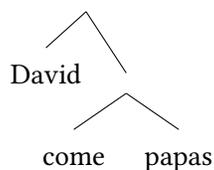
Dicho esto, entremos de lleno en *Merge*. La pregunta que podemos hacernos es *¿cómo dos objetos sintácticos se unen en la mente del hablante para crear un objeto lingüístico complejo?* Al decir «objetos sintácticos» me refiero a formas de pensamiento las cuales se traducirán en ítems léxicos, morfemas, sintagmas, etc. Esta pregunta, en su versión simplificada, sería *¿como la mente humana une dos cosas?* Parece trivial pero es la base de la sintaxis en el sistema lingüístico del hablante.

Para entender qué es lo que hace el modelo, ejemplificaré su funcionamiento en términos teóricos explícitos. Pensemos en que en el lexicón del hablante hay tres «palabras»

{comer} {David} {papas}

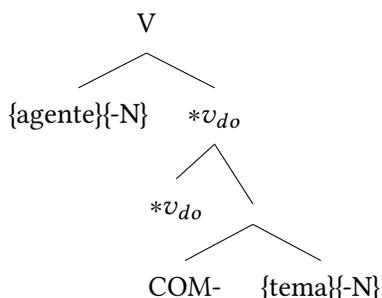
Evidentemente estas «palabras» no existen en la mente del hablante tal cual sino existen dentro del lexicón como un conjunto de rasgos que incluyen su semántica, las instrucciones para su producción fonológica, su combinatoria, el *aktionsart*, etc. La «palabra» {comer} tendría rasgos como «verbo», «+acción», «transitivo», «com-», «[ko.'mer]», «{-N}» etc. La palabra «David» tendría rasgos del tipo «nombre o sustantivo», «+masculino», «+ nombre propio», «[da.'bið]», «{-V}», etc.; y así con todos los ítems léxicos.

Lo que necesitamos saber es cómo es que estas palabras pueden componer un objeto tal como «David come papas», es decir:



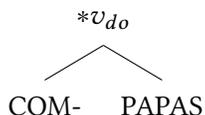
Consideremos entonces que en la mente del hablante se seleccionan las palabras antes mencionadas desde el lexicon. Dichas palabras se «arrojan» a un espacio teórico conocido como *workspace*. En este espacio teórico –de memoria reducida y temporal– se ensambla la oración por medio de fusiones.

Comencemos con el verbo *comer* el cual proyecta dos relaciones las cuales son del tipo sintáctico y semántico. Por una parte, proyecta su categoría de verbo y, por otra parte, proyecta sus papeles temáticos.

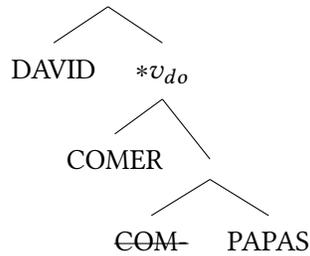


Ésta sería, según los postulados del Programa Minimalista, la proyección total del verbo *comer*. Al ser un verbo transitivo, proyecta la necesidad de ítems léxicos {+N} –nombre o sustantivo– en posición de agente y de tema. El ítem léxico también se presenta como una raíz que puede recibir un morfema de flexión. Al no ser un ítem en sí mismo del tipo «verbo», sino un rasgo de tipo {+V}, se incluye un rasgo no interpretado del tipo *v. El rasgo *v permite que algunos ítems que no consideraríamos propiamente como verbos, funcionen como tales –cfr. la raíz «roj-» de «rojo» en la palabra «enrojecer»–.

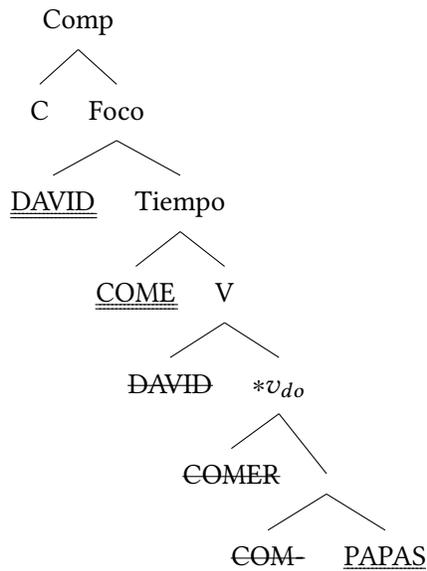
La primera fusión se hace a nivel local en el grupo *vdo. Se realiza una operación *Merge* entre la solicitud de un tema de tipo {+N} y semánticamente «comestible» con el ítem «papas».



Este nuevo objeto ya puede fusionarse con el otro ítem que fungirá como agente, «David», el cual es un {+N} y semánticamente es [+animado] y [-comestible]. Además, la raíz COM- «sube» a la posición de *vdo por medio de la operación *Copy*.



Hasta este punto se ha concluido la fase léxica. El Programa Minimalista indica que dichos deben subir hacia la fase funcional-pragmática –o «fase de complementante»– por medio de operaciones Copy.



Con esto se concluye el proceso sintáctico de armado de la oración «David come papas». La cuestión, como se podrá ver, es que parece todo menos «minimalista» este procedimiento. Lo que me interesa aquí -e intentaré demostrar- no es tanto la estructura propuesta sino la forma en la que ha sido construida. La idea es encontrar una función algorítmica que elabore esta misma estructura en un mínimo de pasos y de forma automática, sin intervención.

Por ello, procederé a demostrar el modelo que he ideado.

6.3. La formalización de Merge y su algoritmo

Mi propuesta de un modelo sintáctico artificial está fundamentada en la forma en la que funciona la operación *Merge*. Esta operación, representada en teoría de conjuntos, debe de funcionar de la siguiente manera:

Dados dos elementos, plantear una función recursiva que agrupe dichos elementos en un conjunto. Al ser recursiva, el conjunto dado se puede utilizar como elemento en otro conjunto. Toda operación de esta función debe ser binaria.

Esto puede expresarse así

$$\begin{aligned}\alpha, \beta &\rightarrow \{\alpha, \beta\} \\ \delta, \{\alpha, \beta\} &\rightarrow \{\delta\{\alpha, \beta\}\}\end{aligned}$$

Dicha función está compuesta por un *input* –un par de variables– y un *output* –conjuntos donde dichas variables estén contenidas–. En realidad, no importa el mecanismo por el cual se unen –como sucede en una máquina von Neumann–. Sin embargo, dado que es un modelo, propondré un mecanismo hipotético posible.

Al igual que cualquier función simple, debe estar expresada de la forma $f(x) = y$. Dicho esto, la función *Merge* puede plantearse de la siguiente manera:

$$\text{merge}(x, y) = \{x, y\}$$

Al estar planteada así, podemos ya buscar una equivalencia en su forma algorítmica. Es difícil postular que la mente es similar a una máquina de Turing –no es posible saber si se encuentra en un estado fijo en un momento determinado–. Por tanto, mi propuesta será dada en un *cálculo lambda*¹ –véase 2.6.1–. La operación *Merge*, postulada como un cálculo lambda, podría sencillamente explicarse como la creación de una lista mediante la codificación propuesta por Church. Dicha operación, conocida en programación como *cons*, se expresa en base a un «par»: $\lambda xyz. xyz$ (Pierce, 2002).

Dicho esto, *la operación Merge sintáctica mínima que yo propongo*, es la siguiente:

$$\lambda ab. \{b\{a\}\}.xy$$

Para dar cuenta de su recursividad, la variable del primer elemento puede sustituirse con la misma operación. Por tanto, el modelo de la operación *Merge* que propongo, en forma de función², es finalmente:

¹El cual fue propuesto por Alonzo Church, contemporáneo de Turing. Ambos se consideran los padres de la teoría de la computación.

²...la cual me fue revelada en un sueño. (Es broma).

$$\lambda ab.\{b\{a\}\}.\{\lambda xy.\{y\{x\}\}.\alpha\beta\}[y]$$

Donde $\{b\{a\}\}$ es el cuerpo del cálculo que contiene la expresión con las variables a sustituir; λab es la cabeza del cálculo lambda; $\{\lambda xy.\{y\{x\}\}.\alpha\beta\}$ es el primer elemento de la segunda expresión –la cual sustituirá a a –; y $[y]$ es el segundo elemento de la segunda expresión –el cual sustituirá a b –. Es importante recordar que α, β y γ pueden ser sustituidos por cualquier elemento sintáctico de la lengua.

Visto de otra manera sería:

λab	$\{b\{a\}\}$	$\{\lambda xy.\{y\{x\}\}.\alpha\beta\}$	$[y]$
cabeza	cuerpo	primer elemento	segundo elemento
	primera expresión	(sustituye a)	(sustituye b)
		segunda expresión	

Si derivamos este cálculo, tendríamos que:

$$\begin{aligned} \lambda ab.\{b\{a\}\}.\{\lambda xy.\{y\{x\}\}.\alpha\beta\}[y] &= \\ \lambda b.\{b\{\lambda xy.\{y\{x\}\}.\alpha\beta\}\}.\{y\} &= \\ \{\gamma\{\lambda xy.\{y\{x\}\}.\alpha\beta\}\} &= \\ \{\gamma\{\lambda y.\{y\{\alpha\}\}.\beta\}\} &= \\ \{\gamma\{\beta\{\alpha\}\}\} & \end{aligned}$$

Lo cual es coherente con la estructura definida por *Copy* y *Merge* que revisé en 5.4.3 y 5.4.4. A fin de comprobar mi cálculo lambda, hice un pequeño modelo en el dialecto de Lisp, Clojure³, por medio de una función anónima de la forma:

```
((fn [a b] [b a]) ((fn [x y] [y x]) "A" "B") "C")
```

el cual da como resultado

```
["C" ["B" "A"]]
```

Lo cual es coherente con el calculo lambda que he propuesto. Para demostrar cómo es que esto está funcionando dentro de la lengua, regresemos al ejemplo de «David come papas». Pensemos en la operación sintáctica que se requiere para generar dicha oración, dados tres ítems $\{david\}$, $\{papas\}$ y $\{comer\}$

$$\begin{aligned} \lambda ab.\{b\{a\}\}.\{\lambda xy.\{y\{x\}\}.\textit{papas comer}\}[david] &= \\ \lambda b.\{b\{\lambda xy.\{y\{x\}\}.\textit{papas comer}\}\}.\{david\} &= \\ \{david\{\lambda xy.\{y\{x\}\}.\textit{papas comer}\}\} &= \\ \{david\{\lambda y.\{y\{\textit{papas}\}\}.\textit{comer}\}\} &= \\ \{david\{\textit{comer}\{\textit{papas}\}\}\} & \end{aligned}$$

³Debido a que los dialectos de Lisp soportan mejor el cálculo lambda y las funciones anónimas ya que son lenguajes de programación funcionales a diferencia de Python que es orientado a objetos.

[«que se besa»], etc. (en las lenguas de tipo turco o húngaro, las formas de esta naturaleza se presentan con una regularidad incomparablemente mayor). [...]

En conclusión aclaremos qué se entiende por comodidad en la aplicación de las gramáticas R para describir los objetos lingüísticos del tipo $((((a)b)c)d) \dots$, de los objetos, valga la expresión, «estratificados». Las gramáticas R son buenas aquí precisamente porque la estratificación se hace patente con la derivación R del correspondiente objeto (éste es el «cierto sentido» que se alude más arriba). Sin embargo, en otros aspectos las gramáticas R pueden ser incómodas al describir incluso tales objetos, por ejemplo, para reflejar todos los procesos morfofonológicos que acompañan a la generación de formas de palabra. [...]

En esta explicación, Gladkij y Mel'cuk hablan de la incomodidad de este modelo ya que las gramáticas R son gramáticas basadas en reglas de reescritura. Aún así, para la década de 1960 ambos autores ya habían previsto la posibilidad de la creación de «listas de listas de listas» para la descripción de los mecanismos sintácticos⁴.

6.4. Elaboración del algoritmo y el programa

Una vez que elaboré una formalización que me parecía satisfactoria, escribí el programa en Python que simula la operación cognitivas de *Merge*. Como un inicio, se puede escribir en pseudocódigo así:

```
funcion Merge (A , B){  
objeto_sintactico = [B, A]  
return = objeto_sintactico  
}
```

Este pseudocódigo, al ser utilizado de forma recursiva, genera una la «lista de listas de listas» lo cual simula la estructura profunda de una oración. Entonces, *mi propuesta en Python de la operación Merge* sería la siguiente:

⁴Con lo cual se cumple la vieja maldición de que, cuando a alguien en América se le ocurre algo en cuestiones formales de lingüística o matemáticas (o ambas), es porque un teórico ruso ya lo había hecho cincuenta años antes.

```

def merge (x,y):
    R =[]
    R.append(x)
    R.append(y)
    fusion = R
    return fusion

```

La explicaré brevemente: def crea una función que puede ser invocada por medio del nombre merge. Ésta es una función que toma dos parámetros (x, y). Al ser invocada con esos dos parámetros, la función crea una lista R=[] a la cual le añade primero el parámetro x y luego el parámetro y por medio de append. Por seguridad⁵ asigno R a un objeto llamado fusion. La función merge, entonces, regresa el valor contenido en fusion –es decir, la lista [y, x]–. Es un código bastante simple y bastante pedestre, pero funciona.

A continuación, *mostraré el programa que escribí en Python:*

```

1 #-*- coding: utf8 -*-
2
3 import itertools
4
5 def flatten(*args):
6     for x in args:
7         if hasattr(x, '__iter__'):
8             for y in flatten(*x):
9                 yield y
10        else:
11            yield x
12
13 ##### LA FUNCIÓN MERGE #####
14 def merge (x,y):
15     R =[]
16     R.append(x)
17     R.append(y)
18     fusion = R
19     return fusion
20
21 #### fin de la FUNCIÓN MERGE #####
22
23 D = merge("&d", "&N")
24 V = merge("&V", D)
25 v = merge(D, V)
26 T = merge("T", v)
27 F = merge("F", T)
28 C = merge("C", F)
29
30 print C
31 sentence = list(flatten(C))
32 print sentence
33
34 from lex import *

```

⁵... y por ser mal programador.

```

35
36 print "La oración base es: "
37 print C
38 sentence = [w.replace('F', '&d &N', 1) for w in sentence]
39 for x in range(3):
40     sentence.pop()
41 sentence = [w.replace('&N', X(Sustantivo), 1) for w in sentence]
42 sentence = [w.replace('&d', X(Determinante), 1) for w in sentence]
43 sentence = [w.replace('T', X(VerboTR), 1) for w in sentence]
44 sentence = list(flatten(sentence))
45 print sentence
46 ag = sentence[1]
47 secondterm = sentence[3:5]
48 oracion = ' '.join(sentence)
49 obj = ' '.join(secondterm)
50 print "-----"
51 print ">>> " + oracion

```

Explicaré ahora cada uno de los elementos del código.

La línea 1 contiene la instrucción `#-*- coding: utf8 -*-`, el cual soporta signos unicode, es decir, acentos, signos de interrogación invertidos, virgulillas, etc. Esto es una de las principales dificultades que se tiene al escribir programas con propósitos lingüísticos en español: *todo está pensado para el hablante de inglés*. Los signos típicos y usuales de nuestra lengua son raros y difíciles de incluir en la programación actual⁶.

La línea 3 invoca a la librería `itertools` que será usada en la función `flatten` la cual servirá de soporte para la recursividad de `merge`. Entre las líneas 5-11 tenemos la función `flatten`. Dicha función la he incluido debido a que Python es bastante torpe en manejar objetos «lista de lista de listas». Si se tratara de un lenguaje de programación funcional (p.ej. *Lisp* o *Haskell*) no habría este problema. Lo que hace es tomar la «lista de lista de listas» y la convierte en una lista simple y «plana» –no jerarquizada– con lo cual ya se puede utilizar como oración.

De la línea 14 a 19 está la función `Merge` que ya he presentado anteriormente.

En las líneas 23-28 es una simulación del «sintagma concordancia» o *SConc*⁷. A pesar de todo, como no utilizaré un lexicón real lleno de rasgos semánticos y morfosintácticos, la función `Merge` no sabe qué objeto debe unir a qué en operación binaria. He incluido tres posiciones de la «fase del complementante»: Complemen-

⁶Invito a reflexionar en qué es lo que sucede con las lenguas originarias de nuestro país. Si es difícil hacer este tipo de programas en español por las limitaciones, ¿qué sucede con las lenguas originarias que tienen una ortografía con signos especiales que marcan tonos o elementos supra-segmentales? De allí la importancia que se elaboren trabajos de lingüística computacional en otras lenguas que no sean el inglés.

⁷De esta manera algo tramposa simulo cómo sería *SConc* dentro de este programa. Esto lo hice con fines prácticos ya que la elaboración de una simulación real de *SConc* podría ser tema de otra tesis.

tante (C), Foco (F) y Tiempo (T) las cuales servirán para generar oraciones diferentes a la declarativa.

En la línea 31 se llama a la función `flatten` sobre el objeto C que es la «lista de lista de listas» generada por `merge` a partir de las instrucciones dadas en 31-36. En 34 se invoca a el programa `lex.py`, el cual funciona como el lexicón. Este programa lo explicaré en el siguiente apartado.

Finalmente, de 53-103 se asignan los ítems léxicos recogidos por la simulación del lexicón y se asignan según las diferentes estructuras que dan, como resultado, varios tipos de oraciones con estructura sintáctica diferente. También se usa `.replace` como forma de simular la función Copy.

Una vez explicado esto, *veamos el output típico de Merge*. En él, solo se representa la estructura profunda y una oración simple declarativa.

```
La oración base es:
['C', ['F', ['T', [['&d', '&N'], ['&V', ['&d', '&N']]]]]]
[u'C', u'la gente', u'captur\xf3', u'la', u'bestia']
-----
>>> C la gente capturó la bestia
```

Típicamente, el programa lo primero que arroja es el objeto sintáctico generado por la función `merge` y después el mismo objeto pero ya «aplanado» por `flatten`. Como podemos observar, la primera línea es una «lista de lista de listas» –solo hace falta ver los corchetes–, la segunda línea es una lista, sin embargo ha sido aplanada para indicar el orden sintáctico de la oración.

Cada letra acompañada de «&» indica que se trata de un ítem léxico. Están incluidos en el programa por lo menos Determinante(&d), Nombre(&N), Intensificador(&I), Adverbio(&ad) y Verbo (&V). Con algunos cambios al código se pueden incluir Adjetivo (&A), Adverbio(&a) y Cuantificador (&Q). También están listadas las categorías funcionales –marcadas con un \$ para distinguirlas– como Complementante (\$C), Foco (\$F) y Tiempo (\$T). El programa puede modificarse para que genere oraciones tan complejas como uno quiera:

```
La oración base es:
['$C', ['$F', ['$T', [['&d', ['&N', '&A']], [['&V', '&ad'], ['&d',
['&N', ['&I', '&A']]]]]]]]
-----
>>> $C ningún bebé feo denunció rápido un problema demasiado verdadero
```

A fin de hacer una demostración más «vistosa», he expandido el programa para que realice diferentes tipos de oraciones. Todo el código está incluido en el *Apéndice A*.

El output del programa, en su versión extendida, es:

```

1      La oración base es:
2      ['$C', ['$F', ['$T', [['&d', ['&N', '&A']], ['&V', ['&d', ['&N', '&A']]]]]]]]
3      -----
4      >>> $C la grandeza sincera destrozó mucho la manipulación demasiado ilimitada
5      -----
6      >>> ¿Quién destrozó más la manipulación demasiado ilimitada ?
7      >>> la grandeza sincera
8      -----
9      >>> ¿Qué destrozó mucho la grandeza sincera?
10     >>> la manipulación demasiado ilimitada
11     -----
12     >>> ¡Dicen que destrozó mucho la grandeza sincera a la manipulación demasiado ilimitada!
13     -----
14     >>> $C la grandeza sincera grita
15     ++++++
16     ['$C', '$F', '$T', '&d', '&N', '&A', '&V', '&d', '&N', '&A']
17     -----
18     >>> $C Ludwig Wittgenstein llamó Ferdinand de Saussure
19     -----
20     >>> ¿Quién llamó Ferdinand de Saussure?
21     >>> Ludwig Wittgenstein
22     -----
23     >>> ¿A quién llamó Ludwig Wittgenstein?
24     >>> A Ferdinand de Saussure
25     -----
26     >>> ¡Dicen que llamó Ludwig Wittgenstein a Ferdinand de Saussure!
27     -----
28     >>> $C Paul Grice fue aquella cara ilimitada

```

Antes que nada, hay que hacer notar que, al no haber un módulo conceptual-intensional, nada determina si la *forma lógica* –la semántica– de estas oraciones es correcta. Por lo tanto, las oraciones generadas son «disparates» que son gramaticales pero no son aceptables –cfr. «*las ideas verdes incoloras duermen furiosamente*»–.

Una observación que considero pertinente es mostrar la dificultad para incluir en el programa la preposición «a» que indica objetos directos animados. Esto daría evidencia de que dicha preposición sólo se agrega cuando la oración *emerge* y únicamente tiene contenido fonético y semántico, pero no un valor sintáctico interpretado. Cuando llega a aparecer esta preposición sin valor sintáctico, es porque yo mismo la he agregado de manera artificial en el programa.

Explicaré el *output* típico de *merge.py* que hemos visto anteriormente. El texto resultante está dividido en dos secciones: una, de la línea 1-15 en donde se utilizan nombres comunes y otra, de 17-29 de nombres propios. En la línea 2 y la 17 vemos la *estructura profunda* que generará todo el conjunto de oraciones siguiente. Ambas estructuras son la misma, Sin embargo, en 2 es una «lista de lista de listas» y en 17 está aplanada.

Las líneas 4 y 19 corresponden a una oración declarativa simple, con verbo transitivo. Es la oración más simple que se puede generar dada la estructura base. Como podemos ver, están precedidas de un \$C ya que, aunque se utilizan las posiciones de foco y tiempo, el complementante sigue estando allí, lo cual podría dar pie a unirla con otra oración y crear una subordinada.

Otros ejemplos de oraciones que fueron arrojadas por `merge.py` fueron las siguientes. He intentado no elegir demasiado las oraciones, sino presentar las mejores de una ronda de veinte ejecuciones.

Declarativas de verbo transitivo, con nombres comunes

(6.1) El amor muerto solicitó ya un viaje necesario

La calidad abrumadora prestó también la risa bastante mala

El dinero parecido devastó mucho el odio bastante ocurrido

La responsabilidad muerta denunció mal la gente poco buena

Esas chicas malas imaginan atrás esas fuerzas bastante oscuras

Declarativas de verbo transitivo, con nombres propios.

(6.2) Ignacio Bosque capturó Homero Simpson

Solomon Kane creó Luke Skywalker

Drácula capturó Margarita Palacios

José Moreno de Alba acompañó Benjamin Lee Whorf

Conan el Cimmerio odió Ferdinand de Saussure

Entre las líneas 6-10 y 21-25 lo que tenemos fue una simulación del *output* en oraciones a las que se le aplicó la función *Copy* –de manera improvisada–. En ellas, los elementos se copian a la posición de *Foco* o *Tiempo* según sea necesario. El complementante es sustituido por un elemento «Qu» –interrogativo– lo cual es verificable porque deja de aparecer el signo \$C en estas oraciones. El programa modifica la oración a una pregunta con el SN que la responde –el cual fue extraído de la oración base y no recortando la pregunta–.

Interrogativas con verbo transitivo y su respuesta.

(6.3) ¿Quiénes pierden las palabras poco buenas ? >>> algunas redes tontas

¿Qué pierden algunas redes tontas? >>> las palabras poco buenas

(6.4) ¿Quién miró Louis Hjelmslev? >>> Neil Gaiman
¿A quién miró Neil Gaiman? >>> A Louis Hjelmslev

(6.5) ¿Quiénes denuncian mucho los parientes demasiado secos ? >>> los
católicos vivos
¿Qué denuncian mucho los católicos vivos? >>> los parientes demasiado
secos

Las siguientes líneas, las 12 y 27, son ejemplos de oraciones reportativas las cuales se introducen con un «que» o «dicen que». Estas construcciones son, en realidad, marcadores discursivos que tienen codificadas instrucciones de los argumentos que requieren y su coorientación –vease Anscombe, Muñoz, Tordesillas, y Ducrot (1994)–. Esto, de forma especulativa, es uno de los puntos donde la sintaxis generativista puede vincularse al análisis pragmático y contextual.

La forma en que se realiza esta reportativa es que, en la posición de complementante, se coloca un C «dicen que». El SN de agente sube a *v, el SN de objeto sube a F y el verbo sube a la posición de T.

Oraciones reportativas

(6.6) ¡Dicen que prestó también la calidad abrumadora a la risa bastante mala!
¡Dicen que devastó mucho el dinero parecido a el odio bastante ocurrido!
¡Dicen que tomó J R R Tolkien a Poppy Z Brite!
¡Dicen que llamó Franz Boas a Gottfried Herder!
¡Dicen que olió Umberto Eco a Steven Pinker!

Entre los últimos datos, del lado de las oraciones generadas con nombres comunes, aparecen en el *output* oraciones con verbo intransitivo en la línea 15. Estas oraciones son para mostrar que el verbo mantiene su valencia y no sólo se le ha pedido a la máquina que le pegue dos SN. La estructura generada está hecha de manera que puede eliminar o agregar SN dependiendo de la valencia verbal.

Oraciones intransitivas

(6.7) La calidad abrumadora desciende.
El dinero parecido entra.
Nuestros secretos felices subieron.

La amistad obrera ladra.

La vida segunda permanece.

Para finalizar, la última línea del *output*, la 29, muestra oraciones de verbo copulativo entre un nombre propio y un SN de nombre común. Las he generado para demostrar que, aunque están divididos en bloques de «común» y «propio» no son independientes y, potencialmente, cualquier ítem léxico puede entrar en la estructura generada por *Merge*.

Oraciones de verbo copulativo entre un nombre propio y un SN

(6.8) Hatsune Miku fue la patronal hermosa.

Cthulhu es la radio vieja.

Neil Gaiman es la cosa dirigida.

Poppy Z Brite fue la fe tranquila.

Noam Chomsky es la mierda bonita.

John Searle es otra corrupción física.

Andrés Bello es la situación tremenda.

Todo esto indica que este modelo de *Merge* que he elaborado podría crear, por lo menos, las llamadas oraciones *kernel*: *declarativas*, *interrogativas*, *exclamativas*, *imperativas* y *reportativas*. Además, el modelo es sensible a la valencia, puede operar con verbos copulativos y, al tener el completamente libre, especulativamente puede generar oraciones subordinadas y cualquier oración que sea un turno comunicativo.

6.5. El programa de simulación del lexicón

En cuanto al léxico, me hubiera gustado que funcionara exactamente como un *lexicón* –es decir, el módulo mental donde se guardan los rasgos que conforman los ítems léxicos–. Un *lexicón* debería ser independiente de la sintaxis y ligado a la memoria y al conocimiento del mundo.

Para ahorrarme problemas, pude haber elaborado mi simulación de lexicón con lista de palabras, previamente seleccionadas y almacenadas en un archivo, las cuales estuvieran etiquetadas con su respectiva categoría de manera que la operación *Merge* simplemente las combinara. Sin embargo, esto no se ajusta a la forma en la que funciona la mente: el *lexicón* no es únicamente un listado de palabras finito; *el lexicón no es un diccionario*. Una forma más realista hubiera sido crear un conjunto de rasgos subespecificados del tipo

[±animado, ±humano, N, selecciona Det/Q y Adj]

El problema es que crear algo así estaba muy por encima de mis habilidades técnicas. La forma en que resolví esto fue utilizar un corpus gigantesco, prácticamente infinito, para simular la forma en la que los ítems léxicos son transmitidos desde la memoria y el conocimiento del mundo hasta el workspace en el módulo de la sintaxis.

El corpus para este experimento consiste en los últimos 500 tweets que se hayan realizado en la ciudad de México al momento de correr el programa. La forma de extraerlos se realiza por medio de *minería de datos* por medio de la API de Twitter. Una vez que Python ha descargado los últimos 500 tweets, selecciona el texto de cada tweet eliminando nombres de usuario, *hashtags*, links, imágenes, *emoticons* para dejar únicamente palabras en español.

Una vez que los tweets han sido compuestos en un enorme texto, Python procede a clasificar las palabras por medio de su categoría gramatical. Al terminar, selecciona algunas palabras al azar y las envía al workspace para ser procesadas por el programa de simulación de *Merge* que he descrito antes.

La selección al azar permite que yo no pueda tener control, ni intervenir, ni seleccionar las palabras que se utilizarán. En Twitter puede aparecer, potencialmente, cualquier palabra del español –teniendo en cuenta que no distingue entre estrato sociocultural, cuentas oficiales o nivel académico–. Las palabras *al azar* son extraídas de interacciones humanas reales. Por tanto, no hay forma que la máquina sepa previamente cómo es que debe procesar los ítems léxicos con los que trabajará: *el programa debe resolverlo por sí mismo*.

La forma en la que se realiza esta extracción de palabras es la siguiente:

1. Python se conecta a la API de búsqueda de Twitter.
2. Una vez que la conexión ha sido establecida, Python pide a Twitter que realice búsquedas de *tweets*. Arbitrariamente elegí que seleccionara *tweets* que contengan la palabra «no» o «que» debido a su frecuencia de uso. La búsqueda se puede regular para determinar cuántos tweets se deben minar –usualmente las búsquedas son de 500, aunque para fines prácticos, suelo reducirlo a 100 o 200–. La búsqueda está restringida únicamente al español de la Ciudad de México –también de forma arbitraria–.
3. Twitter regresa a Python una serie de twitts en formato JSON. Este formato no incluye sólo el texto del mensaje, sino un *maremagnum* de información: la fecha, la hora, el usuario, la descripción que el usuario ha elegido poner para su perfil, su dirección aproximada –cuando el usuario ha decidido que se registre su ubicación por medio de GPS–, nombre del usuario, número de cuenta y muchos más datos.

4. Python, entonces, extrae la información JSON que corresponde al cuerpo del *tweet* y deshecha el resto. Une el conjunto de *tweets* en un texto con lo que se crea un corpus en tiempo real.
5. Después, el programa limpia los *tweets* quitándole los emoticones, las menciones, los links, etc, de manera que elimine los signos que puedan atascar el programa.
6. Una vez que se tiene el corpus, se invoca a un *tagger* –etiquetador– el cual clasifica cada una de las palabras que hay en ese corpus. El etiquetador indica, por lo menos, la categoría gramatical de la palabra y, cuando hay suerte, su género y número.
7. Python, entonces, almacena cada palabra en una lista según su categoría gramatical. Hecho esto, las palabras están listas para usarse por cualquier otra instrucción.

El programa que he utilizado procede de dos fuentes básicas las cuales he modificado exhaustivamente para lograr los resultados deseados. La primera parte del programa está basado en un código para hacer minería de datos en *Twitter* el cual fue ideado por M. A. Russell (2014) . Está ampliamente documentado en el libro «Mining the social network» (M. A. Russell, 2014, Cap. 1) donde se muestra de forma más que detallada cómo es que se puede obtener corpus de este tipo, en tiempo real y de manera automática. Este tipo de programa es altamente útil en la investigación lingüística. Yo mismo lo he utilizado en pequeñas investigaciones de variacionismo sociolingüístico. Cuando este tipo de datos se une a los de otros corpus –como el del «Corpus sociolingüístico de la Ciudad de México»– crean herramientas muy poderosas y valiosas. He incluido la copia de mi versión modificada en el *Apéndice B*, para su observación.

La segunda parte es el etiquetador. Lo usual en este tipo de trabajos es incluir el «Stanford POS tagger» para español. El problema es que este etiquetador y otros no arrojan los datos que yo requería. En inglés, los etiquetadores están muy desarrollados y actualizados. Es decir, prácticamente cualquier palabra que analizan arroja datos importantes para la sintaxis. Sin embargo, en español, debido a la morfología rica –especialmente de las formas verbales– solo arroja datos de la categoría, número y persona.

Actualmente, no existen etiquetadores en español que sean robustos en cuanto a las características sintácticas de cada palabra. No hay etiquetadores que indiquen valencia del verbo, que identifiquen clíticos de OD e OI, si el adjetivo es de tipo calificativo evaluativo o descriptivo o si es relacional. Tampoco identifican la diferencia entre cuantificadores y determinantes, la diferencia entre nombres

(sustantivos) contables o continuos, el caso de los sustantivos, la diferencia entre algunos adverbios y preposiciones y entre adverbios de sintagma verbal, oracionales o discursivos. Ninguno identifica qué es el pronombre «se» o los intensificadores. Estas cuestiones, relevantes para la sintaxis y la semántica, no existen más que en el inglés.

Los etiquetadores actuales son de tipo POS. Es decir «parts of speech»: reconocen las palabras por el lugar que deberían ocupar en la oración, lo cual a estas alturas, es una teoría vieja y simplemente ridícula. Por ello, en español solo distinguen entre las cuatro categorías léxicas clásicas (N, V, Adj, Adv) y dos funcionales (Det y P) con dificultad. Además, «el standford» es pesado, lento y requiere muchas rondas de ejecución para el «aprendizaje» de los ítems léxicos.

Por ello, usé una opción alternativa: el `spaghetti-tagger`. Dicho etiquetador es más ligero, más adecuado para la tarea que quería realizar. Los datos que arroja en formato de etiqueta EAGLES –sistema creado por el grupo EAGLES para el español–. Es decir, un sustantivo se presentaría como:

NCMS000

donde la primera letra indica su categoría (N para nombre), la segunda si es común o propio, la tercera para el género y la cuarta para el número. Las siguientes indicaciones son para el caso, pero, como se dice en la documentación, no se usan. Para saber más, visitar la documentación de EAGLES en:

www.cs.upc.edu/~nlp/tools/parole-sp.html

De tal etiquetador no he encontrado el autor del código, así que lo atribuyo a Google, Inc –como indica la página–. El `spaghetti-tagger` puede descargarse libremente de:

<https://code.google.com/archive/p/spaghetti-tagger/>

donde se especifica que se puede utilizar con fines no comerciales libremente.

En el *Apendice B* muestro el output típico de estos dos programas que trabajan en conjunto, con mis modificaciones, en el código nombrado como `lex.py`. Mencionaré brevemente cada una de sus partes.

En la línea 1 se indica que Python ha logrado una conexión exitosa con la API de Twitter. A partir de allí, se indican cuántos son los *tweets* que han sido capturados en las líneas 3-7. En este caso, Python logra capturar 100 *tweets* con la palabra «qué», en 5 intentos de 20 cada uno. Entre las líneas 9-50 he copiado solo una pequeña parte de los 100 *twits* recopilados, ya sin el resto de lo extraído en formato JSON: sólo texto puro.

Entre las líneas 53-115 los *tweets* ya han sido limpiados y clasificados. Cada ítem léxico es mostrado como una tupla que incluye la «palabra» y su código EAGLES

según su categoría gramatical. De 118 a 256 indiqué a Python que mostrara el listado anterior de una manera «más clara». Por lo tanto aparece el ítem léxico, su categoría gramatical, su código EAGLES y debajo el género y el número.

Finalmente, a partir de la línea 261 aparecen los ítems acomodados en listas, dependiendo de su categoría.

Debo mencionar un problema secundario que surgió. El *spaghetti-tagger* no logra reconocer los nombre propios ni la valencia de los verbos. Esto suponía un problema para una simulación sintáctica completa. Para ello, tuve que crear un lexicón secundario –llamado *lexicon2.csv*– el cual es únicamente una tabla de datos, organizados por categoría, de donde el lexicón artificial se serviría para completar estos datos. El contenido de este lexicón secundario está en el *Apéndice D*.

6.6. Sobre otros modelos sintácticos

Podemos llegar a pensar que, dado que estamos abstrayendo el «módulo de la sintaxis» hasta una escala mínima y algorítmica, cualquier modelo funcionaría dentro de una computadora. Con esto en mente, elaboré un programa que pudiera funcionar como la sintaxis está postulada en la «teoría estándar». Es decir, es un programa que genera oraciones simples por medio de reglas de reescritura.

Para ello, no fue necesario crear un programa en sí, ya que la librería de procesamiento del lenguaje natural *nltk* contiene la función *CFG* que permite crear gramáticas de «reglas de reescritura».

En el *Apéndice D* muestro el código completo de este programa secundario. Dicho programa funciona con las siguientes reglas de reescritura:

$$\begin{aligned} O &\rightarrow SN SV \\ SN &\rightarrow (Det)(Q) N (SA) (SP) \\ SA &\rightarrow (Int) Adj \\ SP &\rightarrow P SN \\ SV &\rightarrow V (SAdv) (SN) (SA) \\ SAdv &\rightarrow (Int) Adv \end{aligned}$$

Donde los ítems léxicos eran proporcionados por el léxico artificial *lex.py*.

El resultado de este programa era una generación «demasiado poderosa». Tan sólo con suministrar ocho nombres –tres propios y cinco comunes– y doce verbos –cinco transitivos, cinco intransitivos y dos copulativos– se lograba generar el absurdo número de más de 700000 (setecientas mil) oraciones en un archivo de texto de más de 30mb. Si consideramos que el léxico en la mente nunca está restringido sino que, potencialmente, cualquier «palabra» puede aparecer en cualquier

oración, este tipo de sintaxis sería demasiado costosa a nivel cognitivo, tanto en procesamiento como en uso de memoria.

Lo que quiero decir es que, para que una persona –bajo los parámetros de la teoría estándar– genere una sola oración simple, tendría que eliminar todas las demás oraciones que no son dicha oración.

En este modelo, si una persona va a hacer una pregunta como «¿qué come el gato?» tendría que, recursivamente hacer todas las oraciones que estuvieran vinculadas a dicha oración, eliminar todas las que no son «el gato come la carne» –incluidos absurdos como «la carne come el gato»– y luego aplicar una serie de transformaciones recursivas para generar la pregunta.

Esto es insostenible con lo que sabemos a partir de los procesos neurológicos con relación al lenguaje.

Por otra parte, el modelo no funcional que hice con Python, genera oraciones que, además de no ser aceptables lógicamente y semánticamente, tampoco son aceptables en el nivel sintáctico.

Por ejemplo:

- (6.9) # La cabeza importunó la captura muy quizás.
- # El calor nace demasiado ayer.
- # Todo activo demasiado solo recibió el paso demasiado menos.
- # Solo un paso poco solo recibió solo un calor demasiado ayer.
- # Noam Chomsky compró Alan Moore menos.

Al comparar una gramática basada en Merge a una basada en reglas de reescritura, podríamos concluir que la sintaxis basada en Merge es más adecuada en cuanto a lo que sabemos actualmente sobre la mente humana en relación al lenguaje; es más «barata» en términos de esfuerzo, memoria y procesamiento; tiene un funcionamiento más adecuado ya que sólo generan lo que se requiere y es, conceptualmente, una solución más simple al problema de cómo es que la sintaxis funciona.



Conclusiones

El paradigma teórico del generativismo conocido como «el Programa Minimalista» propuso, a inicios del siglo XXI, un modelo de investigación de la sintaxis basado en rasgos mínimos universales. La propuesta de investigación indicaba que las gramáticas de las lenguas humanas debían operar, en su base, con una única regla básica que permitiera la unión binaria de dos morfemas o dos ítems léxicos para formar unidades sintácticas superiores.

La razón de esta propuesta subyace en formular un modelo de *gramática universal* centrada en la facultad innata del lenguaje que fuera coherente con las posibilidades hereditarias de los mecanismos mentales. Los recién nacidos poseen, desde su nacimiento, ciertos mecanismos cognitivos mínimos como es la facultad de detección de rostros.

Al estudiar ciertas patologías que afectan a la sintaxis –como el *Trastorno Específico del Lenguaje* (TEL)–, los cuales generalmente están relacionados con factores genéticos, iniciaron la búsqueda de la dotación genética del lenguaje la cual comenzó con las investigaciones del gen FOXP2. Esta presión por parte de la neurología y la genética obligó al generativismo, a través del «Programa Minimalista», a desechar sus postulados iniciales e indicar que la base de la sintaxis debía contar con una única regla de ensamblaje conocida como «operación *Merge*».

Esta tesis inició con una duda metódica: *¿es posible construir una sintaxis de una sola regla?* La cuestión parecía altamente sospechosa ya que, durante siglos, las gramáticas de las lenguas del mundo siempre se han presentado como un sistema de múltiples reglas. *¿Era posible hacer un sistema con una regla de fusión que generara oraciones gramaticales y ninguna agramatical?* Esto, además, parecía que se podía aplicar con mayor facilidad en una lengua de tendencia aislante –el inglés–, sin embargo, *¿funcionaría en español?*

El problema principal es que no se puede «diseccionar la lengua». Es decir, no puede *abrir un cerebro humano* para demostrar que allí justamente existe la operación *Merge*. El objeto de estudio, la sintaxis, es un fenómeno altamente abstracto que se encuentra en una de las últimas fronteras del conocimiento: la mente humana.

Mi propuesta para estudiar este objeto abstracto fue *sacarlo de la mente* para examinarlo. El método para hacer esto lo hice mediante una de las ramas de la ciencia cognitiva: *la inteligencia artificial*. Esta disciplina siempre se ha asociado con la creación de «sistemas inteligentes» y de «agentes inteligentes», es decir, programas de computadora que se adaptan al entorno para la resolución de problemas o *la creación de un robot*. Sin embargo, una rama secundaria de la inteligencia artificial –la IA débil– se centra en la creación de simulaciones de los mecanismos cognitivos como la inteligencia, la conciencia, la vista, el lenguaje para entenderlos *fuera del cerebro humano*. La inteligencia artificial débil es un marco teórico donde podía simular un modelo sintáctico del «Programa Minimalista» que me permitió la observación sin variables que dificultaran su aprehensión.

La forma de determinar la probabilidad de la operación *Merge* del programa minimalista chomskiniano era elaborando **una sintaxis natural para una mente artificial**.

Para este fin, elaboré un programa en el lenguaje de programación Python que funcionara como la operación *Merge* en la producción de oraciones simples. El programa debía estar restringido en cuanto a las formulaciones teóricas y metodológicas del programa minimalista. Además, el programa debía *valerse por sí mismo*, sin intervención humana –ya que esto era una variable indeseable en el experimento–. Por ello, su funcionamiento básico implicaba que uniera ítems léxicos «al azar e inesperados»; para ello, se usó la red social Twitter como fuente de palabras que conformaban su lexicón.

Para elaborar un programa de estas características se requería una formalización rigurosa para su funcionamiento. La formalización matemática surgió de distintos teóricos del minimalismo la cual estaba centrada, en mayor parte, en la teoría de conjuntos. Una vez que la formalización se llevó al algoritmo, el programa logró generar oraciones kernel –declarativas, interrogativas, exclamativas, imperativas y reportativas– sintácticamente «bien formadas» y ninguna agramatical. Es importante mencionar que las oraciones generadas no estaban ligadas a ningún módulo semántico ni eran sensibles al contexto pragmático, por lo cual, su sentido era *disparatado*. Eran disparates sintácticamente correctos en español.

Dicho todo esto puedo declarar que, cuando menos, la hipótesis nula de esta tesis NO se ha cumplido: *Sí es posible representar la operación Merge en su forma algorítmica lo cual dio como resultado un programa que generaba estructuras sintácticas bien formadas*.

Finalmente, puedo concluir que, por lo menos en este modelo de representación, una sintaxis mínima tiene una existencia posible y probable. Con los recursos técnicos con los que dispongo fue posible modelar, de manera algorítmica, por medio de la programación computacional, una función mínima, binaria y eficaz la cual genera oraciones bien formadas.

En cuanto a las hipótesis secundarias que abrí, como vimos, fue posible crear un modelo de la operación Merge desde bases formales. Una operación así puede, posiblemente, tener un correlato hereditario lo cual hablaría de una facultad innata del lenguaje. Es decir, si es posible que una operación así de mínima exista en la mente humana dada por factores genéticos, tendríamos que decir que todo humano es igual en cuanto al lenguaje. Todo ser humano, en cuanto a su naturaleza, es igual a sus semejantes a nivel cognitivo en el área de lenguaje. *Todo humano está facultado para hablar una lengua materna de manera perfecta.*

Cualquier menosprecio hacia la lengua de otros, cualquier jerarquización o discriminación por la lengua que alguien habla es insostenible. En el fondo de nuestra mente, en nuestra mera esencia humana, somos iguales y equivalentes. Esto es importante recordarlo y remarcarlo en estos tiempos donde, por cuestiones irracionales, se declara la superioridad de raza o de lengua de unas culturas sobre las otras.

7.1. Propuestas de investigación

Evidentemente, este trabajo es inconcluso y no concluyente. Durante el desarrollo de este texto he abierto más preguntas de las que he podido responder.

Primero, este trabajo se puede desarrollar de una forma más completa. Es decir, se puede proponer la creación de un sistema computacional que dé cuenta de todas las propuestas del programa minimalista y no solo el *juguete* que he presentado. En ese sentido, aun queda integrar la operación *Merge* a una red neuronal artificial con aprendizaje que permita mejores resultados. También se pueden modelar otras operaciones como *Select* y *Transfer* o elementos funcionales como *SConc*. Por otro lado, se puede comenzar la elaboración de un sistema de análisis sintáctico mínimo por medio de la computadora. Este es trabajo para la ingeniería lingüística, la lingüística matemática y la lingüística computacional.

En este mismo sentido, propongo la creación de un etiquetador *-tagger-* que no esté basado en la vieja idea de «parts of speech» (POS) la cual es insostenible para la sintaxis actual y cuyo funcionamiento sólo es eficiente en lenguas de tendencia aislante, como el inglés. El generativismo está muy centrado en las lenguas indoeuropeas. Tendríamos que observar que no hay desarrollos plenos de inge-

nería lingüística ni de sintaxis minimalista que estén enfocados en las lenguas originarias de México –por dar un ejemplo–.

Además, quisiera retomar la pregunta acerca de si pueden existir «sistemas de una sola regla». *¿Es eso un sistema?* Hay que tener en cuenta que las bases del minimalismo están asentadas en esta propuesta que no se ha desarrollado aún, de manera crítica, adecuadamente. La respuesta a esta pregunta excede mi trabajo y mi campo de estudio. Posiblemente sea tarea de un matemático o un filósofo.

Otro punto a tratar es que aún queda mucha investigación con respecto al minimalismo y al generativismo en general. Este es, apenas, un paradigma de investigación. Y todo paradigma –como indica Thomas Kuhn– está sujeto a ser desplazado por nuevas perspectivas teóricas. Mi invitación es a buscar contrajemplos y propuestas teóricas y metodológicas que desbanquen al minimalismo. Es, al fin y al cabo, un «dios con los pies de barro». Considero que una buena alternativa teórica es el variacionismo sociolingüístico y el estudio del cambio. Como se ha visto por medio de heurísticas y de estadística, que la sintaxis se ve afectada tanto por variables al interior del sistema como por factores sociodemográficos. Esta es una línea de investigación que, probablemente, debemos llevar de la marginalidad al centro de la lingüística misma.

Por otra parte, Python no es el mejor lenguaje de programación para este tipo de modelos. Yo lo utilicé por su facilidad de uso y porque me es fácil escribir programas en él. Sin embargo, creo que debería de elaborarse un lenguaje de programación dedicado al modelaje de los mecanismos cognitivos. Considero que un lenguaje así debería estar inscrito en la programación funcional con buenas características para el procesamiento de corpus. Un lenguaje así debería ser una combinación de *lisp* y *perl*, posiblemente. Tal vez un mejor modelo de la operación *Merge* pueda darse en *Haskell* o en *Clojure*.

Además, el asunto genético-hereditario del lenguaje también está inconcluso. Como marqué en el capítulo 4, los avances en comunicación animal y los factores genéticos del lenguaje son muy recientes y no están plenamente desarrollados. Muchos de ellos todavía son muy difíciles o imposibles en cuanto a que, en nuestro tiempo, no poseemos la tecnología o la investigación que nos permita dar cuenta de determinar si existen factores genéticos en la adquisición del lenguaje. Las *neuronas espejo* parecen una vía aceptable para esta tarea pero hay pocos estudios al respecto. Esto puede ser tarea para un bioquímico o un genetista interesado en estos temas.

Finalmente, quiero remarcar la importancia de los estudios en pragmática. Como pudimos ver, es relativamente fácil elaborar, con los recursos técnicos de nuestro tiempo, modelos del sistema de la lengua. Sin embargo, todo apunta a que la inteligencia artificial debe girar hacia el uso de la lengua. Si en verdad queremos entender el habla humana, cómo se puede crear artificialmente la comunicación

y cómo se pueden hacer análisis automáticos, la línea de investigación es por medio de la pragmática y el análisis del discurso. Hoy, más que nunca, creo que es importante seguir las propuestas de Searle, Grice, Levinson, Sperber y Wilson. Muy posiblemente esa sea la lingüística de nuestro siglo.

7.2. Reflexión final

En «Hacia una lingüística de la escritura», Jonathan Culler (1989) indica:

... la gramática generativo-transformacional parece tener más sentido como una lingüística de la escritura que como una lingüística del habla. No solo se establece la forma fonológica en una de las últimas fases de derivación por medio de un componente «interpretativo», no teniendo por lo tanto aquélla una importancia capital en la concepción de una secuencia lingüística, sino que además una larga serie de rasgos del habla normal –vacilaciones, interrupciones, salidas nulas, cambios de construcción– se relegan todos a la «actuación» y se descartan como irrelevantes para una explicación del lenguaje. Lo relevante, la competencia lingüística, es la capacidad de producir un conjunto infinito de oraciones completas y bien construidas, sin ninguna de las interpretaciones del habla real. Como se pregunta Roy Harris,

suponiendo que quitáramos esta vestidura fonética superficial de la oración, ¿qué hay debajo de ella? Algo que debe tener todas las palabras en su lugar, determinado por su orden, establecidas todas las relaciones gramaticales, asignados todos sus significados, pero que sencillamente carece de una encarnación fonética: una ristra de palabras con el sonido desconectado. En pocas palabras, una abstracción lingüística para la que hasta el momento sólo existe un arquetipo concebible en la historia humana: la oración en la escritura.

Así pues, creo probable que erremos el blanco si entendemos que la lingüística que tenemos es una lingüística del habla y que su correctivo sería una lingüística que enfocara la escritura con seriedad.

Culler convoca a reconsiderar si es que los estudios sintácticos están realmente centrados en el habla. Debemos pensar que, en realidad, los ejemplos en las investigaciones generativistas se han constituido en un género discursivo que podemos nombrar como «el género de los ejemplos lingüísticos generativistas». Pensemos, por ejemplo, en un caso de ambigüedad.

(7.1) Vi a Ana mientras salía de la escuela.

Es común ver este tipo de ejemplos en artículos de sintaxis y semántica. Sin embargo, ¿es sostenible esta ambigüedad si fuera un enunciado y no una oración? ¿Hasta dónde estamos, por cuestiones disciplinarias, llevando la introspección hacia *lingüística del texto* y no al estudio del mundo real?

Los estudios sintácticos se conforman muchas veces con hacer representaciones arbóreas de los fenómenos gramaticales –por ello es que he intentado prescindir en la medida de lo posible de este tipo de esquemas–. Si mi conclusión es que una representación arbórea no es más que un conjunto de operaciones *Merge*, probablemente estemos errando con el objetivo de las investigaciones generativistas actuales.

El generativismo debe contemplar la posibilidad de que, posiblemente, esté creando una *lingüística del texto* sin un correlato fuera de la introspección. Es decir, los estudios formales de gramática generativa parecen estar apuntando hacia el texto y sus subunidades –siguiendo una idea de Bajtín–.

El Programa Minimalista ha planteado que el sistema de la lengua está caracterizado por su simpleza, eficiencia, perfección y «minimidad». Si esto es cierto, el generativismo no debería ser el centro del estudio lingüístico, sino su complemento. Toda la lingüística debería estar volcarse en el estudio de la comunicación humana real, en el contexto comunicativo, en las implicaturas, en el cálculo mental. La argumentación en la lengua no opera de forma lógica, sino por medio de cálculos mentales.

Si es así, tal vez el estudio de la relevancia debería ser el centro de la teoría.

La pragmática, la variación y el análisis del discurso deberían estar en el centro de la investigación dado que el sistema de la lengua es un núcleo duro, pero mínimo. El *juego lingüístico* en el que entran los hablantes es lo que, en realidad debería constituir los estudios del lenguaje del nuevo siglo.

Sin embargo –citando a Wittgenstein–

De lo que no se puede hablar hay que callar.



Código de la función Merge en Python

Todos los códigos aquí listados pueden descargarse libremente desde:

<https://github.com/jackeliand/merge-programa-minimalista>

o con el DOI

doi: 10.5281/zenodo.1167541

<https://doi.org/10.5281/zenodo.1167541>

para su revisión, modificación o derivación.

Para su uso se requiere Python 2.7 –con codificación utf8 por *default*, preferentemente– y la instalación mínima de las librerías `nltk` y `twitter`.

merge.py

```
1 #-*- coding: utf8 -*-
2
3 import sys
4 reload(sys)
5 sys.setdefaultencoding("UTF-8")
6 # lo anterior es para que soporte los acentos
7 # y signos propios del español como "¿"
8 import itertools
9
10 # Esta función toma la "list of list of
11 # lists" y la "aplana" en una lista simple
12 # la cual se usará como oración base.
13
14 def flatten(*args):
15     for x in args:
16         if hasattr(x, '__iter__'):
```

```

17         for y in flatten(*x):
18             yield y
19         else:
20             yield x
21
22 ##### LA FUNCIÓN MERGE #####
23 def merge (x,y):
24     R=[]
25     R.append(x)
26     R.append(y)
27     fusion = R
28     return fusion
29
30 #### fin de la FUNCIÓN MERGE #####
31
32
33 # A manera de SConc, se le dice a
34 # Merge qué unir con qué cosa
35 #SV =merge("&V", "&ad")
36 N = merge("&N", "&A")
37 D = merge("&d", N)
38 V = merge("&V", D)
39 v = merge(D, V)
40 T = merge("$T", v)
41 F = merge("$F", T)
42 C = merge("$C", F)
43
44 print C #Muestra la oración base
45 sentence = list(flatten(C))
46 #"Aplana" la estructura base
47 print sentence
48 sentence2 = sentence
49
50 # Invocamos el lexicón
51 from lex import *
52 from lex import X
53 #####
54 # A continuación, ubicamos cada uno de los ítems
55 # léxicos en dónde deben de ir, "mapeando" la
56 # estructura generada por Merge
57
58
59 if Numero == "S":
60     whConc = "Quién"
61 else:
62     whConc = "Quiénes"
63
64 from lex import Adjetivo
65
66 print "La oración base es: "
67 print C
68 print "-----"
69
70 #Simulemos la función Copy hacia la fase de Comp
71 sentence = [w.replace('$F', '&d &N &Aj', 1) for w in sentence]
72 sentence = [w.replace('&V', '', 1) for w in sentence]

```

```

73 sentence = [w.replace('$T', '&V &ad', 1) for w in sentence]
74 for x in range(3):
75     sentence.pop()
76 sentence = [w.replace('&Aj', X(Adjetivo), 1) for w in sentence]
77 sentence = [w.replace('&N', X(Sustantivo), 1) for w in sentence]
78 sentence = [w.replace('&d', X(Determinante), 1) for w in sentence]
79 sentence = [w.replace('&A', (X(Intensif)+' '+X(Adjetivo)), 1) for w in sentence]
80 sentence = [w.replace('&V', X(VerboTR), 1) for w in sentence]
81 sentence = [w.replace('&ad', X(Adverbio), 1) for w in sentence]
82
83 oracion = list(flatten(sentence))
84 ag = sentence[1]
85 secondterm = oracion[3:6]
86 o = ' '.join(oracion)
87 obj = ' '.join(secondterm)
88
89 print "-----"
90 print ">>> " + o
91
92 print "-----"
93 pregunta = list(flatten(oracion))
94 pregunta = [w.replace('$C', whConc, 1) for w in pregunta]
95 pregunta.insert(1, pregunta[2])
96 for x in range(2):
97     pregunta.pop(2)
98 pregunta = ' '.join(pregunta)
99 print ">>> ¿" + pregunta + "?"
100 print ">>> " + ag
101
102 print "-----"
103 pregunta = list(flatten(sentence))
104 pregunta = [w.replace('$C', "Qué", 1) for w in pregunta]
105 pregunta.insert(1, pregunta[2])
106 for x in range(5):
107     pregunta.pop()
108 pregunta = ' '.join(pregunta)
109 print ">>> ¿" + pregunta + "?"
110 print ">>> " + obj
111 print "-----"
112
113 repor = list(flatten(oracion))
114 repor = [w.replace('$C', "Dicen que", 1) for w in repor]
115 repor.insert(1, repor[2])
116 del repor[3]
117 repor.insert(3, 'a')
118 repor = list(flatten(repor))
119 reportativo = ' '.join(repor)
120 print ">>> i" + reportativo + !"
121 print "-----"
122
123 intr = list(flatten(oracion))
124 intr[2] = X(VerboINtr)
125 for x in range(4):
126     intr.pop()
127 intr = list(flatten(intr))
128 intr = ' '.join(intr)

```

```

129 print ">>> " + intr
130 print "\n"
131
132
133
134 print "++++++"
135
136 whConc = "Quién"
137 sentence = sentence2
138 print sentence
139 sentence = [w.replace('$F', '&N', 1) for w in sentence]
140 for x in range(3):
141     sentence.pop()
142 sentence = [w.replace('&N', X(Propio), 1) for w in sentence]
143 sentence = [w.replace('&d', '', 1) for w in sentence]
144 sentence = [w.replace('$T', X(VtransSing), 1) for w in sentence]
145 sentence = list(flatten(sentence))
146 sentence = sentence[0:5]
147 ag = sentence[1]
148 secondterm = sentence[3:5]
149 oracion = ' '.join(sentence)
150 obj = ' '.join(secondterm)
151 print "-----"
152 print ">>> " + oracion
153 print "-----"
154 pregunta = list(flatten(sentence))
155 pregunta = [w.replace('$C', whConc, 1) for w in pregunta]
156 pregunta.insert(1, pregunta[2])
157 for x in range(2):
158     pregunta.pop(2)
159 pregunta = ' '.join(pregunta)
160 print ">>> ¿" + pregunta + "?"
161 print ">>> " + ag
162 print "-----"
163 pregunta = list(flatten(sentence))
164 pregunta = [w.replace('$C', "A quién", 1) for w in pregunta]
165 pregunta.insert(1, pregunta[2])
166 for x in range(3):
167     pregunta.pop()
168 pregunta = ' '.join(pregunta)
169 print ">>> ¿" + pregunta + "?"
170 print ">>> A " + obj
171 print "-----"
172 repor = list(flatten(sentence))
173 repor = [w.replace('$C', "Dicen que", 1) for w in repor]
174 repor.insert(1, repor[2])
175 del repor[3]
176 repor.insert(3, 'a')
177 repor = list(flatten(repor))
178 reportativo = ' '.join(repor)
179 print ">>> i" + reportativo + "!"
180 print "-----"
181
182 cop = list(flatten(sentence2))
183 cop = [w.replace('$F', X(Propio), 1) for w in cop]
184 cop = [w.replace('$T', X(CopulativoS), 1) for w in cop]

```

```

185 for x in range(4):
186     cop.pop()
187 cop = [w.replace('&N', X(S_FS), 1) for w in cop]
188 cop = [w.replace('&d', X(Det_FS), 1) for w in cop]
189 cop = [w.replace('&A', X(Adj_FS), 1) for w in cop]
190 cop = list(flatten(cop))
191 cop = ' '.join(cop)
192 print ">>> " + cop
193 print "\n"

```

Output típico de merge.py

```

1  ['$C', ['$F', ['$T', [['&d', ['&N', '&A']], ['&V', ['&d', ['&N', '&A']]]]]]]]
2  ['$C', '$F', '$T', '&d', '&N', '&A', '&V', '&d', '&N', '&A']
3
4      L E X I C O
5
6  Estableciendo comunicacion con Twitter...
7  Conexion establecida:
8  <twitter.api.Twitter object at 0xb681244c>
9  Hoy es:
10 Sat Feb 25 21:17:21 2017
11 *****
12 Buscando...
13 Twits capturados: 20
14 Twits capturados: 40
15 Twits capturados: 60
16 Twits capturados: 80
17 Twits capturados: 100
18 -----
19 La oración base es:
20 ['$C', ['$F', ['$T', [['&d', ['&N', '&A']], ['&V', ['&d', ['&N', '&A']]]]]]]]
21 -----
22 -----
23 >>> $C las cosas feas admiran directamente las votaciones algo feas
24 -----
25 >>> ¿Quiénes admiran directamente las votaciones algo feas ?
26 >>> las cosas feas
27 -----
28 >>> ¿Qué admiran directamente las cosas feas?
29 >>> las votaciones algo feas
30 -----
31 >>> ¡Dicen que admiran directamente las cosas feas a las votaciones algo feas !

```

```
32 -----
33 >>> $C las cosas feas sonrieron
34
35 ++++++
36 ['$C', '$F', '$T', '&d', '&N', '&A', '&V', '&d', '&N', '&A']
37 -----
38 >>> $C William Labov imaginó John Searle
39 -----
40 >>> ¿Quién imaginó John Searle?
41 >>> A William Labov
42 -----
43 >>> ¿A Quién imaginó William Labov?
44 >>> A John Searle
45 -----
46 >>> ¡Dicen que imaginó William Labov a John Searle!
47 -----
48 >>> $C Antonio de Nebrija es la plata partidaria
49
50
```



Código de la simulación del léxico

Este código es el que extrae, clasifica y envía los ítems léxicos a la función *Merge* propuesta anteriormente. Su funcionamiento no pretende, de ninguna manera, mostrar cómo es que el lexicon cognitivo funciona. Está elaborado únicamente con fines prácticos y de demostración.

Consiste en dos partes. Una parte es aquella que hace «minería» de *tweets* por medio de la API de Twitter, las clasifica y envía los tokens al azar.

La otra sección es el código del *spaghetti-tagger*, de Google Code, el cual es un etiquetador POS –«parts of speech»– que utiliza el corpus CESS. Dicho etiquetador es superior al que trae por default la librería *nltk*, por ello es que lo utilizo. Es posible descargarlo gratuitamente desde

<https://code.google.com/archive/p/spaghetti-tagger/>

bajo una licencia GNU GPL v3. Aquí solo reproduzco el código.

«Minero» de Twitter (Russell, 2014)

lex.py

```
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2
3 import sys
4 reload(sys)
5 sys.setdefaultencoding('UTF8')
6
7 import nltk
8 import spaghetti as spa
9 from nltk.corpus import stopwords
10 import re
```

```

11 import time
12 import random
13 import csv
14
15
16 global S_MS
17 S_MS = []
18 global S_MP
19 S_MP = []
20 global S_FS
21 S_FS = []
22 global S_FP
23 S_FP = []
24
25 global Pr
26 Pr = []
27
28 global Adj_MS
29 Adj_MS = []
30 global Adj_MP
31 Adj_MP = []
32 global Adj_FS
33 Adj_FS = []
34 global Adj_FP
35 Adj_FP = []
36
37 global Det_MS
38 Det_MS = []
39 global Det_MP
40 Det_MP = []
41 global Det_FS
42 Det_FS = []
43 global Det_FP
44 Det_FP = []
45
46 global Adv
47 Adv = []
48
49 NomPropio1 = []
50 NomPropio2 = []
51 VtransSing = []
52 VtransPl = []
53 VintrSing = []
54 VintrPl = []
55 Intensif = ["muy", "poco", "bastante", "demasiado", "algo"]
56
57 f = open('lexicon2.csv')
58 csv_f = csv.reader(f)
59
60 for row in csv_f:
61     NomPropio1.append(row[0])
62     NomPropio2.append(row[1])
63     VtransPl.append(row[2])
64     VtransSing.append(row[3])
65     VintrSing.append(row[4])
66     VintrPl.append(row[5])

```

```

67
68
69 class lexico:
70
71     def twitter(busq, Ck, Cs, Ot, Ots):
72         import twitter
73         import json
74         print """
75         L E X I C O
76         """
77         print "Estableciendo comunicación con Twitter..."
78         CONSUMER_KEY = Ck
79         CONSUMER_SECRET = Cs
80         OAUTH_TOKEN = Ot
81         OAUTH_TOKEN_SECRET = Ots
82
83         auth = twitter.oauth.OAuth(OAUTH_TOKEN, OAUTH_TOKEN_SECRET,
84                                   CONSUMER_KEY, CONSUMER_SECRET)
85
86         twitter_api = twitter.Twitter(auth=auth)
87         print "Conexión establecida: "
88         print twitter_api
89         print "Hoy es: "
90         print time.strftime("%c")
91         print "*****"
92
93         q = busq
94         count = 20
95         lang = 'es'
96         locale = 'mx'
97
98         search_results = twitter_api.search.tweets(q=q, count=count, lang=lang, locale=locale)
99
100        statuses = search_results['statuses']
101
102        print "Buscando..."
103        for _ in range(5):
104            print "Twits capturados:", len(statuses)
105            try:
106                next_results = search_results['search_metadata']['next_results']
107            except KeyError, e:
108                break
109
110            kwargs = dict([ kv.split('=') for kv in next_results[1:].split("&") ])
111
112            search_results = twitter_api.search.tweets(**kwargs)
113            statuses += search_results['statuses']
114
115
116
117        resultados = [ status['text']
118                      for status in statuses ]
119
120        text = ''.join(resultados)
121        p = re.compile(r'@([\w.-]+)|#([\w.-]+)|(https:\W\Wt\Wco\W)\w{10}|RT')
122        tw = p.sub( '', text)

```

```

123     usoTwitter = 1
124     return tw
125
126
127
128 def limpiezaNone(entrada):
129     lista =[]
130     for x in entrada:
131         if x[1] == None:
132             pass
133         else:
134             lista.append(x)
135     return lista
136
137
138 def match(item, palabra):
139     ítem = str(ítem)
140     matchN = re.search(r'^nc', ítem)
141     matchP = re.search(r'^s', ítem)
142     matchAdj = re.search(r'^a', ítem)
143     matchDet = re.search(r'^d', ítem)
144     matchAdv = re.search(r'^r', ítem)
145
146     if matchN:
147         if ítem[2:4] == 'ms':
148             S_MS.append(palabra)
149         elif ítem[2:4] == 'mp':
150             S_MP.append(palabra)
151         elif ítem[2:4] == 'fs':
152             S_FS.append(palabra)
153         elif ítem[2:4] == 'fp':
154             S_FP.append(palabra)
155         else:
156             pass
157     elif matchP:
158         Pr.append(palabra)
159     elif matchAdj:
160         if ítem[3:5] == 'ms':
161             Adj_MS.append(palabra)
162         elif ítem[3:5] == 'mp':
163             Adj_MP.append(palabra)
164         elif ítem[3:5] == 'fs':
165             Adj_FS.append(palabra)
166         elif ítem[3:5] == 'fp':
167             Adj_FP.append(palabra)
168         else:
169             pass
170     elif matchDet:
171         if ítem[3:5] == 'ms':
172             Det_MS.append(palabra)
173         elif ítem[3:5] == 'mp':
174             Det_MP.append(palabra)
175         elif ítem[3:5] == 'fs':
176             Det_FS.append(palabra)
177         elif ítem[3:5] == 'fp':
178             Det_FP.append(palabra)

```

```

179         else:
180             pass
181     elif matchAdv:
182         if ítem[1] == "n":
183             pass
184         else:
185             Adv.append(palabro)
186     else:
187         return 0
188
189 # En este espacio, agregar los tokens de autenticación
190 # que indica Twitter. Para obtener uno y poder usar este
191 # programa, hay que visitar la página
192 #     https://apps.twitter.com/
193 # y registrar este programa como app.
194 # Entonces, en "args" agregar OAUTH_TOKEN, OAUTH_TOKEN_SECRET,
195 # CONSUMER_KEY, CONSUMER_SECRET en lugar de las XX.
196 # Si hay duda, mirar la línea 84
197 # de este código
198
199     args = ('XXXXXXX',\
200           'XXXXXXX',\
201           'XXXXXXX',\
202           'XXXXXXX')
203     corpus = twitter("no", *args)
204     tagging = spa.pos_tag(corpus.split())
205     palabras = limpiezaNone(tagging)
206     print "-----"
207     for x in palabras:
208         match(x[1], x[0])
209
210
211
212 def X(lis):
213     longitud = len(lis)
214     if longitud == 1:
215         ítemLex = lis[0]
216     elif longitud == 0:
217         ítemLex = "-----"
218     else:
219         ítemLex = lis[random.randint(0, longitud - 1)]
220     return ítemLex
221
222
223 Genero = random.choice('MF')
224 Numero = random.choice('SP')
225 PREP = list(set(Pr))
226 if Numero == "S":
227     if Genero == "M":
228         Determinante = Det_MS
229         Cuantif = [u"medio", u"solo un", u"tambien el"]
230         Propio = NomPropio1 + NomPropio2
231         Sustantivo = S_MS
232         Adjetivo = Adj_MS
233         Preposicion = PREP
234         VerboTR = VtransSing

```

```

235     VerboINtr = VINTRsing
236     VCopulativo = ["es", "fue"]
237     Adverbio = Adv
238     if Genero == "F":
239         Determinante = Det_FS
240         Cuantif = ["media", "solo una", "tambien la"]
241         Propio = NomPropio1 + NomPropio2
242         Sustantivo = S_FS
243         Adjetivo = Adj_FS
244         Preposicion = PREP
245         VerboTR = VtransSing
246         VerboINtr = VINTRsing
247         VCopulativo = ["es", "fue"]
248         Adverbio = Adv
249     elif Numero == "P":
250         if Genero == "M":
251             Determinante = Det_MP
252             Cuantif = ["dos", "tres", "muchos", "pocas"]
253             Propio = NomPropio1 + NomPropio2
254             Sustantivo = S_MP
255             Adjetivo = Adj_MP
256             Preposicion = PREP
257             VerboTR = VtransPl
258             VerboINtr = VINTRpl
259             VCopulativo = ["son", "fueron"]
260             Adverbio = Adv
261         if Genero == "F":
262             Determinante = Det_FP
263             Cuantif = ["dos", "tres", "muchas", "pocas"]
264             Propio = NomPropio1 + NomPropio2
265             Sustantivo = S_FP
266             Adjetivo = Adj_FP
267             Preposicion = PREP
268             VerboTR = VtransPl
269             VerboINtr = VINTRpl
270             VCopulativo = ["son", "fueron"]
271             Adverbio = Adv

```

Spaghetti-tagger (etiquetador POS)

spaghetti.py

```

1  -*- coding: utf8 -*-
2
3  from nltk import UnigramTagger as ut
4  from nltk import BigramTagger as bt
5  from cPickle import dump,load
6
7  def loadtagger(taggerfilename):
8      infile = open(taggerfilename,'rb')
9      tagger = load(infile); infile.close()
10     return tagger
11
12 def traintag(corpusname, corpus):
13     # Function to save tagger.
14     def savetagger(tagfilename,tagger):

```

```

15     outfile = open(tagfilename, 'wb')
16     dump(tagger,outfile,-1); outfile.close()
17     return
18 # Training UnigramTagger.
19 uni_tag = ut(corpus)
20 savetagger(corpusname+'_unigram.tagger',uni_tag)
21 # Training BigramTagger.
22 bi_tag = bt(corpus)
23 savetagger(corpusname+'_bigram.tagger',bi_tag)
24 print "Tagger trained with",corpusname,"using" +\
25       "UnigramTagger and BigramTagger."
26 return
27
28 # Function to unchunk corpus.
29 def unchunk(corpus):
30     nomwe_corpus = []
31     for i in corpus:
32         nomwe = " ".join([j[0].replace("_"," ") for j in i])
33         nomwe_corpus.append(nomwe.split())
34     return nomwe_corpus
35
36 class cesstag():
37     def __init__(self,mwe=True):
38         self.mwe = mwe
39         # Train tagger if it's used for the first time.
40         try:
41             loadtagger('cess_unigram.tagger').tag(['estoy'])
42             loadtagger('cess_bigram.tagger').tag(['estoy'])
43         except IOError:
44             print "*** First-time use of cess tagger ***"
45             print "Training tagger ..."
46             from nltk.corpus import cess_esp as cess
47             cess_sents = cess.tagged_sents()
48             traintag('cess',cess_sents)
49             # Trains the tagger with no MWE.
50             cess_nomwe = unchunk(cess.tagged_sents())
51             tagged_cess_nomwe = batch_pos_tag(cess_nomwe)
52             traintag('cess_nomwe',tagged_cess_nomwe)
53             print
54             # Load tagger.
55             if self.mwe == True:
56                 self.uni = loadtagger('cess_unigram.tagger')
57                 self.bi = loadtagger('cess_bigram.tagger')
58             elif self.mwe == False:
59                 self.uni = loadtagger('cess_nomwe_unigram.tagger')
60                 self.bi = loadtagger('cess_nomwe_bigram.tagger')
61
62 def pos_tag(tokens, mmwe=True):
63     tagger = cesstag(mmwe)
64     return tagger.uni.tag(tokens)
65
66 def batch_pos_tag(sentences, mmwe=True):
67     tagger = cesstag(mmwe)
68     return tagger.uni.batch_tag(sentences)

```

Output típico de lex.py (incluido spaghetti.py)

```
1 <twitter.api.Twitter object at
2 0xb5ddcf2c>
3 *****
4 Twits capturados: 20
5 Twits capturados: 40
6 Twits capturados: 60
7 Twits capturados: 80
8 Twits capturados: 100
9 *****
10 RT @tequiniall: History es una
11 canción llena de promesas entre ellos
12 y nosotros, no creó que nadie llegue
13 a entender cuanto significa #Hist RT
14 @viajandoperdido: Si quieres que te
15 dediquemos una #FiestaTwitter59 Contacta
16 con nosotros info (arroba) allsaleforyou
17 (punto)com https://t RT @CunadoDeTuiter:
18 Tanto que hablan y no he visto a las
19 feministas enseñar las tetas por el
20 puñetazo a Rajoy. Hipócritas.@Sr_Dios
21 Con 17 años, cuando lo suelte el Juez
22 mañana, que le de otra, por lo menos ya
23 que el PP ganará de nuevo, que cambie
24 el presidente.Mi móvil hace lo que le
25 da la gana en fin RT @Piezas750: Acabo
26 de ver lo de Rajoy. Dirán que el chaval
27 iba bajo los efectos de "Podemos". Como
28 si lo viera.Cada que me miro al espejo,
29 me enamoro más de mí!!RT @cositodelabic:
30 Que paja que las conversaciones con
31 esa persona ya no sean las mismas que
32 antes RT @JoseGarcia60_: Te recuerdo que
33 @arreatoficial estará en @nuevoapolo el
34 7 de marzo consigue tus localidades en
35 @entradas #EADT457 http RT @SonLaHostiaTu:
36 Comparar un puñetazo a Rajoy con una
37 colleja de este a su hijo. Creo que
38 a algunos os faltó lo último.En los
39 momentos de crisis, sólo la imaginación
40 es más importante que el conocimiento.
41 Autor: Albert Einstein Hay mujeres a las
42 que no les luce el maquillaje, a mi por
43 ejemplo se que tanto me quejo, si amo
44 ser compulsiva T @HumoDePrimeraTW: Esta
45 es la familia que destruiste, @gotze
46 https://t.co/50n7C8fyP0RT @PaulaaGaldame:
47 Que paz escuchar rock los días nublados
48 que bronca me da esta vida de mierda....
49 busquen tanta explicación a los votos
50 nulos, si l@s llevaste obligado y no
51 querían votar por ti, ni por la otra
52 opción, eso es lo que hay RT @mmerino:
53 En días como hoy te das cuenta de que
54 un porcentaje importante de los que se
55 dicen "demócratas" no tienen ni idea
56 de qué va es Si una mujer te escribe
57 seco no te rindas tienes esperanza
58 hay mujeres que me escribían seco y
59 terminaron bellaqueando conmigo.jaja
60 @KaguraSDT mirada fijada sobre ella .
61 ¿Sabes? Me ha gustado hablar contigo,
62 pero es mejor que me vaya ya, no quiero
63 que acabes con un Alcalde de Cali,
64 Rodrigo Guerrero, destacó los logros de
65 su mandato y reconoció que le quedaron
66 tareas pendientes. @JechuTambornini: Y
67 sé que nunca se me va a olvidar tu voz
68 aunque pierda la memoria, con acercarse
69 a la victoria se conforma un perdedor
70 @C0detteMoulin (Tenía que decirlo por
71 algún sitio)identificada con el nuevo
72 video de @YellowMellowMG NO SOY LA ÚNICA
73 TORPE que se cae cada dos por tres y
74 rompe cosas unidas en torpeza
75 [...]
76 *****
77 [(u'@tequiniall:', None), (u'es',
78 u'vsip3s0'), (u'una', u'di0fs0'), (u'canci\xf3n',
79 u'ncfs000'), (u'llena', u'aq0fs0'),
80 (u'de', u'sps00'), (u'promesas', u'ncfp000'),
81 (u'entre', u'sps00'), (u'ellos', u'pp3mp000'),
82 (u'y', u'cc'), (u'no', u'rn'), (u'cre\xf3',
83 u'vmis3s0'), (u'que', u'pr0cn000'),
84 (u'nadie', u'pi0cs000'), (u'llegue',
85 u'vmisp3s0'), (u'a', u'sps00'), (u'entender',
86 u'vmn0000'), (u'cuanto', u'rg'), (u'significa',
87 u'vmip3s0'), (u'@viajandoperdido:', None),
88 (u'Si', u'cs'), (u'que', u'pr0cn000'),
89 (u'te', u'pp2cs000'), (u'una', u'di0fs0'),
90 (u'Contacta', None), (u'con', u'sps00'),
91 (u'nosotros', u'pp1mp000'), (u'@CunadoDeTuiter:',
92 None), (u'Tanto', u'rg'), (u'que',
```

93 u'pr0cn000'), (u'hablan', u'vmip3p0'),
94 (u'y', u'cc'), (u'no', u'rn'), (u'he',
95 u'vaip1s0'), (u'visto', u'vmp00sm'),
96 (u'a', u'sps00'), (u'las', u'da0fp0'),
97 (u'ense\xflar', None), (u'las', u'da0fp0'),
98 (u'por', u'sps00'), (u'el', u'da0ms0'),
99 (u'a', u'sps00'), (u'Hip\xf3critas.@Sr.Dios',
100 None), (u'Con', u'sps00'), (u'17', u'Z'),
101 (u'cuando', u'cs'), (u'lo', u'da0ns0'),
102 (u'el', u'da0ms0'), (u'ma\xflana',
103 None), (u'que', u'pr0cn000'), (u'le',
104 u'pp3csd00'), (u'de', u'sps00'), (u'por',
105 u'sps00'), (u'lo', u'da0ns0'), (u'menos',
106 u'rg'), (u'ya', u'rg'), (u'que', u'pr0cn000'),
107 (u'el', u'da0ms0'), (u'PP', u'np0000'),
108 (u'ganar\xel', u'vmif3s0'), (u'de',
109 u'sps00'), (u'que', u'pr0cn000'), (u'el',
110 u'da0ms0'), (u'm\xf3vil', u'ncms000'),
111 (u'hace', u'vmip3s0'), (u'lo', u'da0ns0'),
112 (u'que', u'pr0cn000'), (u'le', u'pp3csd00'),
113 (u'da', u'vmip3s0'), (u'la', u'da0fs0'),
114 (u'gana', u'vmip3s0'), (u'en', u'sps00'),
115 (u'@Piezas750:', None), (u'de', u'sps00'),
116 (u'ver', u'vmn0000'), (u'lo', u'da0ns0'),
117 (u'de', u'sps00'), (u'Dir\xeln', None),
118 (u'que', u'pr0cn000'), (u'el', u'da0ms0'),
119 (u'chaval', u'ncms000'), (u'iba', u'vmii3s0'),
120 (u'bajo', u'sps00'), (u'los', u'da0mp0'),
121 (u'efectos', u'ncmp000'), (u'de', u'sps00'),
122 (u'Como', u'cs'), (u'si', u'cs'), (u'lo',
123 u'da0ns0'), (u'que', u'pr0cn000'), (u'me',
124 u'pp1cs000'), (u'al', u'spcms'), (u'me',
125 u'pp1cs000'), (u'm\xels', u'rg'), (u'de',
126 u'sps00'), (u'@cositodelabic:', None),
127 (u'Que', u'cs'), (u'que', u'pr0cn000'),
128 (u'las', u'da0fp0'), (u'conversaciones',
129 u'ncfp000'), (u'con', u'sps00'), (u'esa',
130 u'dd0fs0'), (u'persona', u'ncfs000'),
131 (u'ya', u'rg'), (u'no', u'rn'), (u'sean',
132 u'vssp3p0'), (u'las', u'da0fp0'), (u'mismas',
133 u'di0fp0'), (u'que', u'pr0cn000'),
134 (u'@JoseGarcia60:', None), (u'Te',
135 u'pp2cs000'), (u'recuerdo', u'ncms000'),
136 (u'que', u'pr0cn000'), (u'estar\xel',
137 u'vmif3s0'), (u'en', u'sps00'), (u'el',
138 u'da0ms0'), (u'7', u'Z'), (u'de', u'sps00'),
139 (u'marzo', u'W'), (u'consigue', u'vmip3s0'),
140 (u'tus', u'dp2cps'), (u'localidades',
141 u'ncfp000'), (u'en', u'sps00'), (u'#EADT457',
142 None), (u'@SonLaHostiaTu:', None),
143 (u'Comparar', u'vmn0000'), (u'un',
144 u'di0ms0'), (u'a', u'sps00'), (u'con',
145 u'sps00'), (u'una', u'di0fs0'), (u'de',
146 u'sps00'), (u'este', u'dd0ms0'), (u'a',
147 u'sps00'), (u'su', u'dp3cs0'), (u'Creo',
148 u'vmip1s0'), (u'que', u'pr0cn000'),
149 (u'a', u'sps00'), (u'algunos', u'di0mp0'),
150 (u'os', u'pp2cp000'), (u'falt\xf3',
151 u'vmis3s0'), (u'lo', u'da0ns0'), (u'los',
152 u'da0mp0'), (u'momentos', u'ncmp000'),
153 (u'de', u'sps00'), (u's\xf3lo', u'rg'),
154 (u'la', u'da0fs0'), (u'imaginaci\xf3n',
155 u'ncfs000'), (u'es', u'vsip3s0'), (u'm\xels',
156 u'rg'), (u'importante', u'aq0cs0'),
157 (u'que', u'pr0cn000'), (u'el', u'da0ms0'),
158 (u'Autor:', None), (u'Albert', u'np0000p'),
159 (u'mujeres', u'ncfp000'), (u'a', u'sps00'),
160 (u'las', u'da0fp0'), (u'que', u'pr0cn000'),
161 (u'no', u'rn'), (u'les', u'pp3cpd00'),
162 (u'luce', u'vmip3s0'), (u'el', u'da0ms0'),
163 (u'a', u'sps00'), (u'mi', u'dp1cs'),
164 (u'por', u'sps00'), (u'ejemplo', u'ncms000'),
165 (u'se', u'p0300000'), (u'que', u'pr0cn000'),
166 (u'tanto', u'rg'),
167 [...]
168 *****
169 una / DET / di0fs0
170 (femenino, singular)
171 ----
172 canción / SUST / ncfs000
173 (femenino, singular)
174 ----
175 llena / ADJ / aq0fs0
176 (femenino, singular)
177 ----
178 de / PREP / sps00
179 ----
180 promesas / SUST / ncfp000
181 (femenino, plural)
182 ----
183 entre / PREP / sps00
184 ----
185 no / ADV / rn
186 ----
187 a / PREP / sps00
188 ----
189 cuanto / ADV / rg
190 ----

191	una / DET / di0fs0	240	móvil / SUST / ncms000
192	(femenino, singular)	241	(masculino, singular)
193	-----	242	-----
194	con / PREP / sps00	243	lo / DET / da0ns0
195	-----	244	-----
196	Tanto / ADV/ rg	245	la / DET / da0fs0
197	-----	246	(femenino, singular)
198	no / ADV/ rn	247	-----
199	-----	248	en / PREP / sps00
200	a / PREP / sps00	249	-----
201	-----	250	de / PREP / sps00
202	las / DET / da0fp0	251	-----
203	(femenino, plural)	252	lo / DET / da0ns0
204	-----	253	-----
205	las / DET / da0fp0	254	de / PREP / sps00
206	(femenino, plural)	255	-----
207	-----	256	el / DET / da0ms0
208	por / PREP / sps00	257	(masculino, singular)
209	-----	258	-----
210	el / DET / da0ms0	259	chaval / SUST / ncms000
211	(masculino, singular)	260	(masculino, singular)
212	-----	261	-----
213	a / PREP / sps00	262	bajo / PREP / sps00
214	-----	263	-----
215	Con / PREP / sps00	264	los / DET / da0mp0
216	-----	265	(masculino, plural)
217	lo / DET / da0ns0	266	-----
218	-----	267	efectos / SUST / ncmp000
219	el / DET / da0ms0	268	(masculino, plural)
220	(masculino, singular)	269	-----
221	-----	270	de / PREP / sps00
222	de / PREP / sps00	271	-----
223	-----	272	lo / DET / da0ns0
224	por / PREP / sps00	273	-----
225	-----	274	al / PREP / spcms
226	lo / DET / da0ns0	275	-----
227	-----	276	más / ADV/ rg
228	menos / ADV/ rg	277	-----
229	-----	278	de / PREP / sps00
230	ya / ADV/ rg	279	-----
231	-----	280	las / DET / da0fp0
232	el / DET / da0ms0	281	(femenino, plural)
233	(masculino, singular)	282	-----
234	-----	283	conversaciones / SUST / ncfp000
235	de / PREP / sps00	284	(femenino, plural)
236	-----	285	-----
237	el / DET / da0ms0	286	con / PREP / sps00
238	(masculino, singular)	287	-----
239	-----	288	esa / DET / dd0fs0

289 (femenino, singular)
290 -----
291 persona / SUST / ncfs000
292 (femenino, singular)
293 -----
294 ya / ADV/ rg
295 -----
296 no / ADV/ rn
297 -----
298 las / DET / da0fp0
299 (femenino, plural)
300 -----
301 mismas / DET / di0fp0
302 (femenino, plural)
303 -----
304 recuerdo / SUST / ncms000
305 (masculino, singular)
306 -----
307 en / PREP / sps00
308 -----
309 [...]
310 *****
311 -----
312 [u'm\x3vil', u'chaval', u'recuerdo',
313 u'ejemplo', u'rock', u'porcentaje',
314 u'mandato', u'coraz\x3n', u'afecto',
315 u'contacto', u'coraz\x3n', u'afecto',
316 u'd\xeda', u'd\xeda', u'pelo', u'pa\xeds',
317 u'hombre', u'presidente', u'presidente',
318 u'compromiso', u'chico', u'pueblo',
319 u'voto', u'coraz\x3n', u'afecto',
320 u'momento', u'centro', u'chaval', u'nombre',
321 u'cambio', u'abismo', u'amigo', u'acto',
322 u'vecino', u'pelo', u'aplausos', u'se\xeflor',
323 u'tema', u'paro', u'pa\xeds', u'\xelnimo',
324 u'respeto', u'minuto', u'ataque', u'poder',
325 u'momento', u'hijo', u'recuerdo', u'amigo',
326 u'acto', u'fatbol', u'trozo', u'm\x3vil']
327 -----
328 [u'efectos', u'momentos', u'd\xedas',
329 u'votos', u'd\xedas', u'logros', u'problemas',
330 u'informes', u'vecinos', u'amigos',
331 u'padres', u'ojos', u'ojos', u'd\xedas',
332 u'a\xeflos', u'comentarios']
333 -----
334 [u'canci\x3n', u'persona', u'imaginaci\x3n',
335 u'familia', u'paz', u'vida', u'explicaci\x3n',
336 u'idea', u'mujer', u'esperanza', u'mirada',
337 u'voz', u'victoria', u'posici\x3n',
338 u'solidaridad', u'v\xeda', u'solidaridad',
339 u'gente', u'culpa', u'gente', u'casa',
340 u'agresi\x3n', u'candidatura', u'diferencia',
341 u'clase', u'vida', u'lucha', u'tarde',
342 u'culpa', u'clase', u'asamblea', u'solidaridad',
343 u'falta', u'agresi\x3n', u'cabeza',
344 u'familia', u'envidia', u'costumbre',
345 u'cosa', u'exclusi\x3n', u'pobreza',
346 u'gente', u'firma', u'infraestructura',
347 u'muchacha', u'd\xeca', u'culpa',
348 u'agresi\x3n', u'condena', u'intolerancia',
349 u'puta', u'mano', u'agresi\x3n', u'familia',
350 u'carne', u'manga']
351 -----
352 [u'promesas', u'conversaciones',
353 u'localidades', u'mujeres', u'mujeres',
354 u'tareas', u'cosas', u'muestras', u'hostias',
355 u'muestras', u'preguntas', u'tonter\xedas',
356 u'frases', u'muestras', u'ganas', u'izquierdas',
357 u'viviendas', u'\xedctimas', u'veces',
358 u'personas', u'sonrisas', u'tasas',
359 u'promesas', u'cuentas', u'vacaciones',
360 u'localidades']
361 -----
362 [u'obligado', u'seco', u'seco',
363 u'nuevo', u'Seguro', u'agresor', u'bueno',
364 u'Seguro', u'seguro', u'largo', u'primero',
365 u'r\xelpido', u'buen', u'extra\xeflo']
366 -----
367 [u'lindos', u'm\xeddnimos']
368 -----
369 [u'llena', u'compulsiva', u'fijada',
370 u'trabajadora', u'trabajadora', u'nueva',
371 u'partidaria', u'corta', u'buen',
372 u'sola', u'corta']
373 -----
374 [u'pol\xedcticas', u'ricas', u'amigas']
375 -----
376 [u'en', u'DE', u'por', u'al',
377 u'hacia', u'contra', u'sobre', u'desde',
378 u'sin', u'A', u'EN', u'para', u'de',
379 u'Hasta', u'bajo', u'Con', u'a', u'En',
380 u'entre', u'Por', u'hasta', u'del',
381 u'con']
382 -----
383 [u'no', u'cuanto', u'Tanto', u'no',
384 u'menos', u'ya', u'm\xels', u'ya', u'no',
385 u's\xeflo', u'm\xels', u'no', u'tanto',
386 u'no', u'hoy', u'no', u'no', u'no',

387 u'nunca', u'no', u'no', u'no', u'a\xfan',
 388 u'menos', u'm\xels', u'Ahora', u'no',
 389 u'no', u'cuanto', u'm\xels', u'nunca',
 390 u'aqu\xed', u'no', u'adem\xels', u'no',
 391 u'no', u'temprano', u'm\xels', u'ya',
 392 u'no', u'Tanto', u'no', u'no', u'm\xels',
 393 u'Muy', u'no', u'm\xels', u'siquiera',
 394 u'no', u'ilegalmente', u'siempre', u'no',
 395 u'no', u's\x3lo', u'm\xels', u'm\xels',
 396 u'no', u'no', u'realmente', u'm\xels',
 397 u'no', u'siempre', u'siempre', u'luego',
 398 u'casi', u'm\xels', u'ya', u'm\xels',
 399 u'tan', u'bien', u'no', u'no', u'no',
 400 u'm\xels', u'no', u'menos', u'tan',
 401 u'poco', u'mucho', u'no', u'enormemente',
 402 u'no']
 403 -----
 404 [u'el', u'el', u'el', u'el', u'el',
 405 u'el', u'un', u'este', u'el', u'el',
 406 u'un', u'un', u'un', u'alg\xfan', u'el',
 407 u'un', u'este', u'un', u'El', u'medio',
 408 u'el', u'este', u'el', u'este', u'un',
 409 u'el', u'el', u'El', u'El', u'el', u'el',
 410 u'el', u'el', u'propio', u'el', u'un',
 411 u'un', u'el', u'un', u'el', u'el', u'el',
 412 u'el', u'EL', u'el', u'ese', u'el', u'Un',
 413 u'El', u'el', u'el', u'el', u'un', u'El',
 414 u'el', u'el', u'este', u'el', u'el',
 415 u'EL', u'el', u'el', u'un', u'todo',
 416 u'el', u'Un', u'el', u'un', u'el',
 417 u'este', u'un', u'el', u'el', u'este']

418 -----
 419 [u'los', u'algunos', u'los', u'los',
 420 u'los', u'los', u'los', u'los', u'otros',
 421 u'los', u'muchos', u'los', u'los', u'los',
 422 u'los', u'los', u'estos', u'los', u'los',
 423 u'los', u'Los', u'los', u'todos', u'esos',
 424 u'los', u'los', u'aquellos', u'los',
 425 u'los', u'tantos', u'los', u'unos']
 426 -----
 427 [u'una', u'una', u'la', u'esa',
 428 u'una', u'la', u'Esta', u'la', u'esta',
 429 u'tanta', u'la', u'otra', u'una', u'la',
 430 u'la', u'LA', u'la', u'la', u'esta',
 431 u'la', u'esta', u'otra', u'la', u'una',
 432 u'una', u'la', u'la', u'una', u'la',
 433 u'la', u'la', u'una', u'la', u'la', u'la',
 434 u'la', u'esta', u'la', u'la', u'una',
 435 u'la', u'la', u'esa', u'una', u'la',
 436 u'la', u'la', u'la', u'LA', u'LA', u'LA',
 437 u'esta', u'la', u'una', u'la', u'una',
 438 u'la', u'una', u'la', u'la', u'la', u'la',
 439 u'la', u'La', u'la', u'La', u'una', u'la',
 440 u'la']
 441 -----
 442 [u'las', u'las', u'las', u'las',
 443 u'mismas', u'las', u'las', u'todas',
 444 u'varias', u'las', u'las', u'esas',
 445 u'las', u'las', u'las', u'las', u'unas',
 446 u'unas', u'las', u'las', u'las', u'las']



Código de un modelo de teoría estándar

La librería `nltk` permite, por medio de su función `CFG`, simular gramáticas basadas en reglas de reescritura. Para hacer las cosas más «interesantes», he unido el código del lexicón a una gramática de reglas de reescritura previamente elaborada. El resultado casi siempre genera un archivo `.txt` de cerca de 40mb con más de 700000 oraciones –las cuales no todas son gramaticales–.

Al final, agrego solo un pequeño fragmento del *output* que arroja este código.

Modelo de una gramática de reglas de reescritura

`teo_stand.py`

```
1 # -*- coding: utf8 -*-
2
3 import nltk
4 from nltk import CFG
5 from nltk.parse.generate import generate
6 from lex import *
7 from lex import X
8 # "lex" para simular un lexicon y "X" es una
9 # funcion que permite tomar tokens léxicos al azar
10 import codecs
11
12 import sys
13 reload(sys)
14 sys.setdefaultencoding('UTF8')
15
16 # Gramática generativa de reglas de reescritura
17
18 grammar = CFG.fromstring('''
19 0 -> SN SV
20 SN -> Det N | Det N SA | Det N SP | Det N SA SP | '''+
21 '''Q N | Q N SA | Q N SP | Q N SA SP | Spropio
```

```

22 SA -> Adj | Int Adj
23 SP -> P SN
24 SV -> VINTR | VINTR SADV | VTRANS SN | VTRANS SN SADV | Vcop SN | Vcop SA
25 SAdv -> Adv | Int Adv
26 '''
27 "Det -> '" + X(Determinante) + "' | '" + X(Determinante) +
28 "' | '" + X(Determinante) + "'\n"
29 "Q -> '" + X(Cuantif) + "' | '" + X(Cuantif) + "' | '" + X(Cuantif) + "'\n"
30 "Spropio -> '" + X(Propio) + "' | '" + X(Propio) + "' | '" + X(Propio) + "'\n"
31 "N -> '" + X(Sustantivo) + "' | '" + X(Sustantivo) + "' | '" +
32 X(Sustantivo) + "' | '" + X(Sustantivo) + "' | '" + X(Sustantivo) + "'\n"
33 "Adj -> '" + X(Adjetivo) + "' | '" + X(Adjetivo) + "' | '" + X(Adjetivo) +
34 "' | '" + X(Adjetivo) + "' | '" + X(Adjetivo) + "'\n"
35 "P -> '" + X(Preposicion) + "' | '" +
36 X(Preposicion) + "' | '" + X(Preposicion) + "'\n"
37 "Int -> '" + X(Intensif) + "' | '" + X(Intensif) + "'\n"
38 "Vtrans -> '" + X(VerboTR) + "' | '" + X(VerboTR) + "' | '" +
39 X(VerboTR) + "' | '" + X(VerboTR) + "' | '" + X(VerboTR) + "'\n"
40 "VINtr -> '" + X(VerboINtr) + "' | '" + X(VerboINtr) +
41 "' | '" + X(VerboINtr) + "' | '" + X(VerboINtr) +
42 "' | '" + X(VerboINtr) + "'\n"
43 "Vcop -> '" + X(VCopulativo) + "' | '" + X(VCopulativo) + "'\n"
44 "Adv -> '" + X(Adverbio) + "' | '" + X(Adverbio) + "'\n"
45 )
46
47 # Fin de gramática generativa
48 print grammar #Muestra la gramática con los ítems léxicos elegidos
49
50 # Si sólo se quiere ver el funcionamiento desde
51 # la consola, hay que usar:
52 #
53 #for sentence in generate(grammar, depth=5, n=200):
54 #    print(' '.join(sentence))
55 #
56 # lo cual solo generará 200 líneas (cambiar el valor
57 # de "n" para más. Después de eso
58 # eliminar el resto:
59
60 #####
61 # Esto genera un archivo de texto de más de
62 # 600000 oraciones (35mb aprox). Hay que tener
63 # paciencia en lo que termina el proceso.
64
65 f = codecs.open('test.txt', mode='w', encoding='UTF8')
66 f.write(str(grammar))
67 for sentence in generate(grammar, depth=5):
68     f.write(' '.join(sentence))
69     f.write("\n")
70 f.close()
71 ####

```

Output típico de teo_stand.py

```

1          L E X I C O
2
3  Estableciendo comunicacion con Twitter...
4  Conexion establecida:
5  <twitter.api.Twitter object at 0xb686f9ec>
6  Hoy es:
7  Tue Feb 21 14:53:36 2017
8  *****
9  Buscando...
10 Twits capturados: 10
11 Twits capturados: 20
12 Twits capturados: 30
13 Twits capturados: 40
14 Twits capturados: 50
15 -----
16 Grammar with 59 productions (start state = 0)
17   0 -> SN SV
18   SN -> Det N
19   SN -> Det N SA
20   SN -> Det N SP
21   SN -> Det N SA SP
22   SN -> Q N
23   SN -> Q N SA
24   SN -> Q N SP
25   SN -> Q N SA SP
26   SN -> Spropio
27   SA -> Adj
28   SA -> Int Adj
29   SP -> P SN
30   SV -> Vintr
31   SV -> Vintr SAdv
32   SV -> Vtrans SN
33   SV -> Vtrans SN SAdv
34   SV -> Vcop SN
35   SV -> Vcop SA
36   SAdv -> Adv
37   SAdv -> Int Adv
38   Det -> 'los'
39   Det -> 'los'
40   Det -> 'todos'
41   Q -> 'pocos'
42   Q -> 'muchos'
43   Q -> 'pocos'
44   Spropio -> 'Paul Grice'
45   Spropio -> 'Wilhelm von Humboldt'
46   Spropio -> 'Frodo Bols\xf3n'
47   N -> 'rehenes'
48   N -> 'sentimientos'
49   N -> 'millones'
50   N -> 'milxflos'
51   N -> 'millones'
52   Adj -> 'juntos'
53   Adj -> 'juntos'
54   Adj -> 'juntos'
55   Adj -> 'juntos'
56   Adj -> 'juntos'
57   P -> 'del'
58   P -> 'en'
59   P -> 'con'
60   Int -> 'poco'
61   Int -> 'algo'
62   Vtrans -> 'crean'
63   Vtrans -> 'visitan'
64   Vtrans -> 'ganan'
65   Vtrans -> 'describen'
66   Vtrans -> 'buscan'
67   Vintr -> 'permanecieron'
68   Vintr -> 'estornudaron'
69   Vintr -> 'huyeron'
70   Vintr -> 'sonrieron'
71   Vintr -> 'vinieron'
72   Vcop -> 'fueron'
73   Vcop -> 'fueron'
74   Adv -> 'mucho'
75   Adv -> 'tan'
76   los rehenes permanecieron
77   los rehenes estornudaron
78   los rehenes huyeron
79   los rehenes sonrieron
80   los rehenes vinieron
81   los rehenes permanecieron mucho
82   los rehenes permanecieron tan
83   los rehenes permanecieron poco mucho
84   los rehenes permanecieron poco tan
85   los rehenes permanecieron algo mucho
86   los rehenes permanecieron algo tan
87   los rehenes estornudaron mucho
88   los rehenes estornudaron tan
89   los rehenes estornudaron poco mucho
90   los rehenes estornudaron poco tan
91   los rehenes estornudaron algo mucho
92   los rehenes estornudaron algo tan
93   los rehenes huyeron mucho
94   los rehenes huyeron tan
95   los rehenes huyeron poco mucho
96   los rehenes huyeron poco tan
97   los rehenes huyeron algo mucho
98   los rehenes huyeron algo tan
99   los rehenes sonrieron mucho
100  los rehenes sonrieron tan
101  los rehenes sonrieron poco mucho
102  los rehenes sonrieron poco tan
103  los rehenes sonrieron algo mucho
104  los rehenes sonrieron algo tan
105  los rehenes vinieron mucho
106  los rehenes vinieron tan
107  los rehenes vinieron poco mucho
108  los rehenes vinieron poco tan
109  los rehenes vinieron algo mucho
110  los rehenes vinieron algo tan
111  los rehenes crean los rehenes
112  los rehenes crean los sentimientos
113  los rehenes crean los millones
114  los rehenes crean los ni\xf1os
115  los rehenes crean los millones
116  los rehenes crean los rehenes
117  los rehenes crean los sentimientos
118  los rehenes crean los millones
119  los rehenes crean los ni\xf1os
120  los rehenes crean los millones
121  los rehenes crean todos rehenes
122  los rehenes crean todos sentimientos
123  los rehenes crean todos millones
124  los rehenes crean todos ni\xf1os
125  los rehenes crean todos millones
126  los rehenes crean pocos rehenes
127  los rehenes crean pocos sentimientos
128  los rehenes crean pocos millones
129  los rehenes crean pocos ni\xf1os
130  los rehenes crean pocos millones
131  los rehenes crean muchos rehenes
132  los rehenes crean muchos sentimientos
133  los rehenes crean muchos millones
134  los rehenes crean muchos ni\xf1os
135  los rehenes crean muchos millones
136  los rehenes crean pocos rehenes
137  los rehenes crean pocos sentimientos
138  los rehenes crean pocos millones
139  los rehenes crean pocos ni\xf1os
140  los rehenes crean pocos millones
141  los rehenes crean Paul Grice
142  los rehenes crean Wilhelm von Humboldt
143  los rehenes crean Frodo Bols\xf3n
144  los rehenes visitan los rehenes
145  los rehenes visitan los sentimientos
146  los rehenes visitan los millones
147  los rehenes visitan los ni\xf1os
148  los rehenes visitan los millones

```

149	los rehenes visitan los rehenes	213	los rehenes describen los niños
150	los rehenes visitan los sentimientos	214	los rehenes describen los millones
151	los rehenes visitan los millones	215	los rehenes describen los rehenes
152	los rehenes visitan los niños	216	los rehenes describen los sentimientos
153	los rehenes visitan los millones	217	los rehenes describen los millones
154	los rehenes visitan todos rehenes	218	los rehenes describen los niños
155	los rehenes visitan todos sentimientos	219	los rehenes describen los millones
156	los rehenes visitan todos millones	220	los rehenes describen todos rehenes
157	los rehenes visitan todos niños	221	los rehenes describen todos sentimientos
158	los rehenes visitan todos millones	222	los rehenes describen todos millones
159	los rehenes visitan pocos rehenes	223	los rehenes describen todos niños
160	los rehenes visitan pocos sentimientos	224	los rehenes describen todos millones
161	los rehenes visitan pocos millones	225	los rehenes describen pocos rehenes
162	los rehenes visitan pocos niños	226	los rehenes describen pocos sentimientos
163	los rehenes visitan pocos millones	227	los rehenes describen pocos millones
164	los rehenes visitan muchos rehenes	228	los rehenes describen pocos niños
165	los rehenes visitan muchos sentimientos	229	los rehenes describen pocos millones
166	los rehenes visitan muchos millones	230	los rehenes describen muchos rehenes
167	los rehenes visitan muchos niños	231	los rehenes describen muchos sentimientos
168	los rehenes visitan muchos millones	232	los rehenes describen muchos millones
169	los rehenes visitan pocos rehenes	233	los rehenes describen muchos niños
170	los rehenes visitan pocos sentimientos	234	los rehenes describen muchos millones
171	los rehenes visitan pocos millones	235	los rehenes describen pocos rehenes
172	los rehenes visitan pocos niños	236	los rehenes describen pocos sentimientos
173	los rehenes visitan pocos millones	237	los rehenes describen pocos millones
174	los rehenes visitan Paul Grice	238	los rehenes describen pocos niños
175	los rehenes visitan Wilhelm von Humboldt	239	los rehenes describen pocos millones
176	los rehenes visitan Frodo Bolsón	240	los rehenes describen Paul Grice
177	los rehenes ganan los rehenes	241	los rehenes describen Wilhelm von Humboldt
178	los rehenes ganan los sentimientos	242	los rehenes describen Frodo Bolsón
179	los rehenes ganan los millones	243	los rehenes buscan los rehenes
180	los rehenes ganan los niños	244	los rehenes buscan los sentimientos
181	los rehenes ganan los millones	245	los rehenes buscan los millones
182	los rehenes ganan los rehenes	246	los rehenes buscan los niños
183	los rehenes ganan los sentimientos	247	los rehenes buscan los millones
184	los rehenes ganan los millones	248	los rehenes buscan los rehenes
185	los rehenes ganan los niños	249	los rehenes buscan los sentimientos
186	los rehenes ganan los millones	250	los rehenes buscan los millones
187	los rehenes ganan todos rehenes	251	los rehenes buscan los niños
188	los rehenes ganan todos sentimientos	252	los rehenes buscan los millones
189	los rehenes ganan todos millones	253	los rehenes buscan todos rehenes
190	los rehenes ganan todos niños	254	los rehenes buscan todos sentimientos
191	los rehenes ganan todos millones	255	los rehenes buscan todos millones
192	los rehenes ganan pocos rehenes	256	los rehenes buscan todos niños
193	los rehenes ganan pocos sentimientos	257	los rehenes buscan todos millones
194	los rehenes ganan pocos millones	258	los rehenes buscan pocos rehenes
195	los rehenes ganan pocos niños	259	los rehenes buscan pocos sentimientos
196	los rehenes ganan pocos millones	260	los rehenes buscan pocos millones
197	los rehenes ganan muchos rehenes	261	los rehenes buscan pocos niños
198	los rehenes ganan muchos sentimientos	262	los rehenes buscan pocos millones
199	los rehenes ganan muchos millones	263	los rehenes buscan muchos rehenes
200	los rehenes ganan muchos niños	264	los rehenes buscan muchos sentimientos
201	los rehenes ganan muchos millones	265	los rehenes buscan muchos millones
202	los rehenes ganan pocos rehenes	266	los rehenes buscan muchos niños
203	los rehenes ganan pocos sentimientos	267	los rehenes buscan muchos millones
204	los rehenes ganan pocos millones	268	los rehenes buscan pocos rehenes
205	los rehenes ganan pocos niños	269	los rehenes buscan pocos sentimientos
206	los rehenes ganan pocos millones	270	los rehenes buscan pocos millones
207	los rehenes ganan Paul Grice	271	los rehenes buscan pocos niños
208	los rehenes ganan Wilhelm von Humboldt	272	los rehenes buscan pocos millones
209	los rehenes ganan Frodo Bolsón	273	los rehenes buscan Paul Grice
210	los rehenes describen los rehenes	274	los rehenes buscan Wilhelm von Humboldt
211	los rehenes describen los sentimientos	275	los rehenes buscan Frodo Bolsón
212	los rehenes describen los millones	276	[...]



Contenido del lexicón secundario

El spaghetti-tagger –y, prácticamente, cualquier etiquetador– es bastante «torpe» al distinguir los nombre propios, la transitividad, tiempo y número de los verbos. Para fines prácticos, cree un lexicón secundario [lexicon2.csv] el cual incluye nombre propios y listas de verbos basadas en su valencia. El contenido de dicho archivo es el siguiente.

Noam Chomsky	Marc Okrand	buscan	buscó	pasea	pasearon
Leonard Bloomfield	Arika Okrent	pierden	perdió	viaja	viajaron
Edward Sapir	David J Peterson	miran	miró	camina	caminaron
William Labov	J R R Tolkien	inoportunan	importunó	merodea	merodearon
Ferdinand de Saussure	Robert E Howard	visitan	visitó	corre	corrieron
John Lyons	Gary Gygax	persiguen	persiguió	vuela	volaron
Umberto Eco	Batman	asesinan	asesinó	reflexiona	reflexionaron
Franz Boas	Frodo Bolsón	llaman	llamó	piensa	pensaron
Stephen C Levinson	Ged el Archimago	imaginan	imaginó	sueña	soñaron
Zellig Harris	Cthulhu	aman	amó	brinca	brincaron
Charles Hockett	Gandalf el Gris	denuncian	denunció	estornuda	estornudaron
Samuel Gili Gaya	Drácula	abrazan	abrazó	vomita	vomitaron
Dell Hymes	Ender Wiggin	devoran	devoró	crece	crecieron
George Lakoff	Paul Atreides	atacan	atacó	vive	vivieron
Morris Swadesh	Lord Ruthven	capturan	capturó	canta	cantaron
Benjamin Lee Whorf	Lestat de Lioncourt	preparan	preparó	habla	hablaron
José Moreno de Alba	Conan el Cimmerico	saltan	saltó	gesticula	gesticularon
Carlos Lenkersdorf	Elric de Melniboné	huelen	olió	grita	gritaron
Juan Miguel Lope Blanch	Garion de Riva	reciben	recibió	fracasa	fracasaron

Antonio de Nebrija	Rick Deckard	quieren	quiso	llora	lloraron
Panini	Montag el Bombero	secuestran	secuestró	tiembla	temblaron
Sánchez de las Brozas	Luke Skywalker	descubren	descubrió	tose	tosieron
Platón	Jean-Luc Picard	pagan	pagó	ríe	rieron
Aristóteles	Spock	prestan	prestó	gruñe	gruñeron
Margarita Palacios	Edward Gorey	envenenan	envenenó	muere	murieron
Ludwig Wittgenstein	Shinji Ikari	toman	tomó	ruge	rugieron
Dionisio de Tracia	Haruhi Suzumiya	compran	compró	vuelve	volvieron
Apolonio Díscolo	Light Yagami	ganan	ganó	viene	vinieron
Prisciano	Patrick Bateman	admiran	admiró	cae	cayeron
Gottlob Frege	Robert Neville	escuchan	escuchó	sube	subieron
Algirdas Greimas	Raistlin Majere	perciben	percibió	baja	bajaron
Wilhelm von Humboldt	Coraline	entienden	entendió	entra	entraron
Gottfried Herder	Solomon Kane	aprenden	aprendió	sale	salieron
Nikolai Trubetzky	Eddard Stark	olvidan	olvidó	existe	existieron
Roman Jakobson	Capitán Diego Alatríste	reconocen	reconoció	lee	leyeron
Franz Bopp	Fafhrd	solicitan	solicitó	aburre	aburrieron
Jakob Grimm	Sailor Moon	piden	pidió	espera	esperaron
C S Peirce	Harry Potter	estiman	estimó	huye	huyeron
Roland Barthes	Homero Simpson	desprecian	despreció	ladra	ladraron
John Searle	Morticia Addams	odian	odió	mañlla	maullaron
David Crystal	Jack Skellington	aumentan	aumentó	nace	nacieron
John Austin	Himura Kenshin	destrozan	destrozó	envejece	envejecieron
Carl Wernicke	H P Lovecraft	cortan	cortó	rejuvenece	rejuvenecieron
Paul Broca	Joyce Carol Oates	unen	unió	saluda	saludaron
Steven Pinker	Poppy Z Brite	visten	vistió	adelgaza	adelgazaron
Derek Bickerton	Ursula K Le Guin	masajean	masajeó	engorda	engordaron
Émile Benveniste	Clive Barker	seducen	sedujo	baila	bailaron
Andrés Bello	Neil Gaiman	desnudan	desnudó	respira	respiraron
Ignacio Bosque	Alan Moore	utilizan	utilizó	sonríe	sonrieron
Eugenio Coseriu	Tanith Lee	acompañan	acompañó	gime	gimieron
Louis Hjelmslev	Ray Bradbury	aconsejan	aconsejó	aparece	aparecieron
Emilio Alarcos Llorach	Isaac Asimov	devastan	devastó	desaparece	desaparecieron
Otto Jespersen	Philip K Dick	crean	creó	permanece	permanecieron
Paul Grice	Hatsune Miku	describen	describió	suspira	suspiraron

Bibliografía

- Álvarez González, C. J. (2010). La relación entre lenguaje y pensamiento de vigotsky en el desarrollo de la psicolingüística moderna. *RLA. Revista de lingüística teórica y aplicada*, 48(2), 13–32.
- Anscombe, J.-C., Muñoz, J. S., Tordesillas, M., y Ducrot, O. (1994). *La argumentación en la lengua*. Editorial Gredos.
- Arch, V. S., y Narins, P. M. (2009). Sexual hearing: The influence of sex hormones on acoustic communication in frogs. *Hearing research*, 252(1), 15–20.
- Bach, J. (2012). *The lambda calculus for absolute dummies (like myself)*. <https://palmstroem.blogspot.mx/2012/05/lambda-calculus-for-absolute-dummies.html>. (Con acceso: 2 de febrero de 2017)
- Benítez-Burraco, A. (2008). Foxp2 y la biología molecular del lenguaje: nuevas evidencias. i. aspectos fenotípicos y modelos animales. *Revista de neurología*, 46(5), 289–298.
- Bickerton, D. (2007). Language evolution: A brief guide for linguists. *Lingua*, 117(3), 510–526.
- Boden, M. (1994). *Filosofía de la inteligencia artificial*. FCE, México.
- Boeckx, C. (2008). *Bare syntax*. OUP Oxford.
- Bosque, I., y Barreto, V. D. (1999). *Gramática descriptiva de la lengua española*. Espasa Calpe.
- Bosque, I., y Gutiérrez-Rexach, J. (2009). *Fundamentos de sintaxis formal*. Ediciones AKAL.
- Carnie, A. (2013). *Syntax: A generative introduction*. John Wiley & Sons.
- Casti, J. L. (1998). *El quinteto de cambridge*. Taurus.

- Cevallos, M. Á. (2010). El gen maestro y el don del lenguaje. *Revista ¿Cómo ves?*(137), 10–14.
- Chomsky, N. (1957;2004). *Estructuras sintácticas*. siglo XXI.
- Chomsky, N. (1959). On certain formal properties of grammars. *Information and control*, 2(2), 137–167.
- Chomsky, N. (1975). *The logical structure of linguistic theory*. Plenum press New York.
- Chomsky, N. (1976). *Aspectos de la teoría de la sintaxis*. Aguilar.
- Chomsky, N. (1986). *Knowledge of language: Its nature, origin, and use*. Greenwood Publishing Group.
- Chomsky, N., y Schutzenberger, M. (1963). The algebraic theory of context-free languages. *Computer programming and formal systems*, 28, 118.
- Chomsky, N., y Schützenberger, M. P. (1963). The algebraic theory of context-free languages. *Studies in Logic and the Foundations of Mathematics*, 35, 118–161.
- Christiansen, M. H., y Kirby, S. (2003). Language evolution: Consensus and controversies. *Trends in cognitive sciences*, 7(7), 300–307.
- Chrusch, C., y Gabora, L. (2014). A tentative role for foxp2 in the evolution of dual processing modes and generative abilities. , 36(36).
- Church, A. (1932). A set of postulates for the foundation of logic. *Annals of mathematics*, 346–366.
- Collins, C., y Stabler, E. (2016). A formalization of minimalist syntax. *Syntax*, 19(1), 43–78.
- Corballis, M. C. (2004). Foxp2 and the mirror system. *Trends in cognitive sciences*, 8(3), 95–96.
- Crystal, D. (1971). *Linguistics*. Penguin Harmondsworth.
- Culler, J. (1989). Hacia una lingüística de la escritura. En *La lingüística de la escritura: debates entre lengua y literatura* (pp. 181–192).
- Cussins, A. (1994). La construcción conexionista de los conceptos. *La filosofía de la inteligencia artificial*, 409–488.
- Devereux, G. (1994). *De la ansiedad al método en las ciencias del comportamiento*. Siglo XXI.
- Dortier, J.-F. (2013). *L’homme, cet étrange animal: aux origines du langage, de la culture et de la pensée*. Sciences humaines.
- Dreyfus, H. L., y Dreyfus, S. H. (1994). La construcción de una mente versus el modelaje del cerebro: La inteligencia artificial regresa a un punto de ramificación. En M. A. Boden y G. F. de la Torre (Eds.), *Filosofía de la inteligencia artificial*. Fondo de Cultura Económica.
- Ekbia, H. R. (2008). *Artificial dreams: The quest for non-biological intelligence*. Cambridge University Press.
- Friedl, J. E. (2002). *Mastering regular expressions*. O’Reilly Media, Inc.

- Gladkij, A. V., y Mel'cuk, I. A. (1972). *Introducción a la lingüística matemática* (Vol. 3). Planeta.
- Gong, T., Shuai, L., y Wu, Y. (2013). Multidisciplinary approaches in evolutionary linguistics. *Language Sciences*, 37, 1–13.
- Gutiérrez, L. J. E. (2014). La gramática univesal en el programa minimista. *RLA: Revista de lingüística teórica y aplicada*(52), 35–58.
- Gutiérrez, L. J. E., y Soriano, O. M. F. (2004). *Introducción a una sintaxis minimista*. Editorial Gredos.
- Haesler, S., Rochefort, C., Georgi, B., Licznarski, P., Osten, P., y Scharff, C. (2007). Incomplete and inaccurate vocal imitation after knockdown of foxp2 in song-bird basal ganglia nucleus area x. *PLoS Biol*, 5, e321.
- Haugeland, J. (1989). *Artificial intelligence: The very idea*. MIT press.
- Heyes, C. M. (1995). Self-recognition in primates: further reflections create a hall of mirrors. *Animal Behaviour*, 50(6), 1533–1542.
- Hihara, S., Yamada, H., Iriki, A., y Okanoya, K. (2003). Spontaneous vocal differentiation of coo-calls for tools and food in japanese monkeys. *Neuroscience Research*, 45(4), 383–389.
- Hofstadter, D. (2007). *Gödel, escher, bach: un eterno y grácil bucle*. Tusquets.
- Hopcroft, J. E., Motwani, R., y Ullman, J. D. (2002). *Introducción a la teoría de autómatas, lenguajes y computación*. Pearson.
- Isasi Viñuela, P., y Galván León, I. (2004). *Redes de neuronas artificiales: Un enfoque práctico*. Pearson Educación.
- Kelley, D. B. (2004). Vocal communication in frogs. *Current opinion in neurobiology*, 14(6), 751–757.
- Koda, H., y Sugiura, H. (2010). The ecological design of the affiliative vocal communication style in wild japanese macaques: behavioral adjustments to social contexts and environments. En *The japanese macaques* (pp. 165–190). Springer.
- Krause, J., Lalueza-Fox, C., Orlando, L., Enard, W., Green, R. E., Burbano, H. A., ... others (2007). The derived foxp2 variant of modern humans was shared with neandertals. *Current biology*, 17(21), 1908–1912.
- Labov, W. (1972). Some principles of linguistic methodology. *Language in society*, 1(1), 97–120.
- Labov, W. (1982). Objectivity and commitment in linguistic science: The case of the black english trial in ann arbor. *Language in society*, 11(02), 165–201.
- Lasnik, H., y Lohndal, T. (2013). Brief overview of the history of generative syntax. *The Cambridge handbook of generative syntax*, 26–60.
- Leary, C. J. (2009). Hormones and acoustic communication in anuran amphibians. *Integrative and comparative biology*, icp027.

- Lieberman, P., Fecteau, S., Théoret, H., Garcia, R. R., Aboitiz, F., MacLarnon, A., ...
 Lieberman, P. (2007). The evolution of human speech: Its anatomical and neural bases. *Current Anthropology*, 48(1), 39–66.
- Linz, P. (2011). *An introduction to formal languages and automata*. Jones & Bartlett Publishers.
- Malpica Velasco, J. A. (1998). *Introducción a la teoría de autómatas*. Universidad de Alcalá. Departamento de Matemáticas.
- Marcus, G. F., y Fisher, S. E. (2003). Foxp2 in focus: what can genes tell us about speech and language? *Trends in cognitive sciences*, 7(6), 257–262.
- Marr, D. (1994). La inteligencia artificial: un punto de vista personal. En M. A. Boden y G. F. de la Torre (Eds.), *Filosofía de la inteligencia artificial*. Fondo de Cultura Económica.
- Martin, J. C. (2004). *Lenguajes formales y teoría de la computación*. McGraw Hill.
- Martínez Longa, V. M. (2006). Sobre el significado del descubrimiento del gen foxp2. *Estudios de lingüística*(20), 177–208.
- McCulloch, W. S., y Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*, 5(4), 115–133.
- Menzel, R. (2012). The honeybee as a model for understanding the basis of cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 13(11), 758–768.
- Munguía Zatarain, I. (1995). Presentación. En *Antología de sintaxis generativa*. UAM-Iztapalapa.
- Muñoz, R. C., y Villodre, L. M. (2001). *Lenguajes, gramáticas y autómatas: curso básico*. Alfaomega - Univ. Politèc. de Catalunya.
- Partee, B. H. (2005). Formal semantics. En *Lectures at a workshop in moscow*. http://people.umass.edu/partee/rggu_2005/rggu05_formal_semantics.htm.
- Patterson, F. G., y Gordon, W. (2002). Twenty-seven years of project koko and michael. En *All apes great and small* (pp. 165–176). Springer.
- Penrose, R. (2002). *La mente nueva del emperador*. Fondo de cultura economica.
- Pepperberg, I. M. (2006). Cognitive and communicative abilities of grey parrots. *Applied Animal Behaviour Science*, 100(1-2), 77-86. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2006.04.005>
- Pierce, B. C. (2002). *Types and programming languages*. MIT press.
- Pika, S., Liebal, K., y Tomasello, M. (2005). Gestural communication in subadult bonobos (*pan paniscus*): repertoire and use. *American Journal of Primatology*, 65(1), 39–61.
- Pinker, S. (1999). *El instinto del lenguaje: cómo crea el lenguaje la mente*. Alianza Editorial.
- Pinker, S., y Jackendoff, R. (2005). The faculty of language: what's special about it? *Cognition*, 95(2), 201–236.

- Post, E. L., y cols. (1944). *Recursively enumerable sets of positive integers and their decision problems*. American Mathematical Society.
- Radford, A. (2004). *Minimalist syntax: Exploring the structure of english*. Cambridge University Press.
- Rancière, J. (2008). *El maestro ignorante/the ignorant teacher*. Libros del Zorzal.
- Russell, M. A. (2014). *Mining the social web. second edition*. O'Reilly Media, Inc.
- Russell, S. J., y Norvig, P. (2004). *Inteligencia artificial: un enfoque moderno*. Pearson Educacion.
- Sanjuán, J., Tolosa, A., Colomer Revuelta, J., Ivorra Martínez, J. L., Llacer, B., y Jover, M. (2010). Factores genéticos en el desarrollo del lenguaje. *Rev Neurol*, s101–s106.
- Scharff, C., y Haesler, S. (2005). An evolutionary perspective on foxp2: strictly for the birds? *Current opinion in neurobiology*, 15(6), 694–703.
- Searle, J. (1994). Mentes, cerebros y programas. En M. A. Boden y G. F. de la Torre (Eds.), *Filosofía de la inteligencia artificial*. Fondo de Cultura Econ mica.
- Serrano, S. (1988a). *Elementos de ling stica matemática*. Anagrama.
- Serrano, S. (1988b). *Lógica, ling stica y matemáticas*. Anagrama.
- Seyfarth, R. M., Cheney, D. L., y Marler, P. (1980). Monkey Responses to Three Different Alarm Calls: Evidence of Predator Classification and Semantic Communication. *Science*, 210(4471), 801–803.
- Sugiura, H. (1993). Temporal and acoustic correlates in vocal exchange of coo calls in japanese macaques. *Behaviour*, 124(3), 207–225.
- Tanaka, T., Sugiura, H., y Masataka, N. (2006). Cross-sectional and longitudinal studies of the development of group differences in acoustic features of coo calls in two groups of Japanese macaques. *Ethology*, 112(1), 7–21.
- Torres Cacoullous, R. (2008). La evolución de estar+ v-ndo hacia expresión obligatoria del aspecto progresivo en español. En *Actas vii congreso internacional de historia de la lengua española. madrid: Arco libros* (pp. 1147–62).
- Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. En M. A. Boden y G. F. de la Torre (Eds.), *Filosofía de la inteligencia artificial*. Fondo de Cultura Económica.
- von Frisch, K. (1974, agosto). Decoding the Language of the Bee. *Science*, 185(4152), 663–668.
- Wenner, A. M. (2002). The elusive honey bee dance “language” hypothesis. *Journal of insect behavior*, 15(6), 859–878.

Índice alfabético

- árbol sintáctico, 49, 51
- área de Broca, 100, 154
- órgano del lenguaje, 67

- acertijo MU, 28–32
- actuación, 182
- affix hopping, 193
- agramaticalidad, 21
- algoritmo, 73, 108, 198
- Austin, J. L., 112
- australopitecus, 154
- Autómata(robot), 55
- Autómatas, 55–63
- axioma, 31, 174

- Bloomfield, Leonard, 115

- Cálculo Lambda, 25, 74–77
- cadena, 29
- Chomsky, Noam, 24–28, 60, 81, 171
 - Aspectos de la teoría de la sintaxis, 189
 - El conocimiento del lenguaje, 186, 199
 - El programa minimalista, 186
 - Estructuras sintácticas, 38, 189

- Logical structure of linguistic theory, 185
- perfil, 168
- The algebraic theory of context-free languages, 189

- Church, Alonzo, 25
- ciencia cognitiva, 43, 166
- CNTNAP2, 156
- competencia, 182
- comprensión, 112
- Comunicación animal
 - abejas, 128
 - bonobos, 133
 - gorilas, 136
 - Koko, la gorila, 137
 - macaco japonés, 131
 - monos Vervet, 130
 - Nim Chimpsky, 143
 - perico gris africano, 129
 - ranas, 127
- conductismo, 115
- Coseriu, Eugenio, 78
- cuadrángulo de Wernicke, 100
- Culler, Jonathan, 225, 253

Darwin, Charles, 124, 126, 151
 Dawkins, Richard, 124
 Descartes, René, 116, 117
 Devereux, George, 158
 dispositivo, 45
 dualismo mente-cuerpo, 116

 Einstein, Albert, 116, 118
 ENIAC, 25
 estructura ahormacional, 189
 estructura profunda, 188
 estructuralismo, 24
 evolución, 124

 Faraón Psamético, 150
 Foucault, Michel, 121
 FOXP2, 144–159
 gene knockout, 146
 la familia KE, 145, 147, 156
 Mosca drosófila, 144

 Gödel, Escher, Bach, 28–32, 89, 121
 generativismo, 56, 81, 95
 gramática generativa, 188
 Gramática Universal, 201, 207, 209, 210,
 215
 gramaticalidad, 43
 Grice, Paul, 199
 implicatura conversacional, 199

 Harris, Zellig, 50
 Herder, Johann Gottfried von, 85
 Hofstadter, Douglas, 28, 80, 118
 hominización, 157
 Horn, Laurence Robert, 199

 Inteligencia artificial
 agente, 91
 aplicada, 86
 conexionista, 92, 99
 débil, 27, 106, 107
 Filosofía, 87
 fuerte, 106, 107
 Simbólica, 94
 teórica, 86
 isomorfismo, 79

 Jackendorff, Ray, 50
 Jacotot, Joseph, 120
 Jakobson, Roman, 170

 Kasparov, Gary, 107
 Kuhn, Thomas, 171

 Labov, William, 49, 176, 222
 Lakatos, Imre, 171
 Lenguajes formales, 41
 gramática, 44
 lenguaje, 42
 oraciones, 41
 Levinson, Stephen C., 199
 lingüística cognitiva, 91
 lingüística matemática
 coherencia matemática, 25
 Locke, John, 181

 máquina de Turing, 55
 Markov, Andréi, 60
 cadenas de Markov, 60, 102
 Max Müller, Friedrich, 150
 mecanicismo, 69, 119
 meme, 124
 modelo, 97, 98, 151–152

 neandertal, 156, 158
 neuronas, 100
 neuronas espejo, 160

 Operación merge, 213, 215, 216, 218,
 229, 233

 Panini, 164
 Astadhyayi, 164

Platón, 116, 150, 181
 Popper, Karl, 223
 Port Royal, 171, 189
 Post, Emile, 28
 problema, 43

 Rancière, Jacques, 120
 recursividad, 193
 redes neuronales, 100
 artificiales, 101
 reglas de producción, 46–49, 192
 reglas de reescritura, 29–32
 reglas de rescritura, 191
 reglas transformacionales, 196

 Sacks, Oliver, 121
 Saussure, Ferdinand de, 170, 182, 184
 Searle, John, 79, 106, 110, 112, 118
 la habitación china, 112–116
 sintaxis
 definición, 164
 sistema formal, 28
 sistemas inteligentes, 106
 Skinner, Burrhus Frederic, 148, 181
 Sperber, Dan, 199

 tabula rasa, 148, 181
 teoría de autómatas, 26
 teoría de conjuntos, 33–38
 cadena, 37
 cadena nula, 38
 concatenación, 40
 conjunto, 34
 elemento, 33
 lenguaje, 39
 teoría de los actos de habla, 112
 teorema, 30
 teorema de incompletitud de Gödel,
 25
 Teorema de Kleene, 63
 Trastorno específico del lenguaje, 145

 Trubetzkoi, Nikolai, 170
 Turing, Alan, 25, 55
 Máquina de Turing, 66–74
 test de Turing, 108

 variacionismo, 91
 von Humboldt, Wilhelm, 171, 189

 Wittgenstein, 42, 89, 113, 120, 121, 199

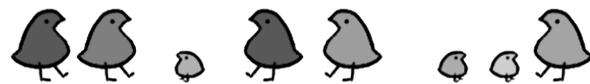
 X barra, 49

Índice general

1. Presentación	17
2. Bases formales	24
2.1. Lenguajes, gramáticas y autómatas	28
2.1.1. El Acertijo MU de Hofstader	28
2.2. Nociones básicas	32
2.2.1. Conceptos fundamentales	33
2.2.2. Cadena	37
2.3. «Lenguajes» en la teoría de autómatas	38
2.3.1. Lenguajes	39
2.4. Gramáticas	44
2.4.1. Reglas de producción	46
2.4.2. Representación gráfica en árbol	49
2.4.3. Vínculo con las lenguas naturales	52
2.5. Autómatas	55
2.5.1. Autómatas de estados finitos	57
2.5.2. Definición formal y grafo	60
2.5.3. Transformación de gramáticas a autómatas	63
2.6. Máquinas de Turing	65
2.6.1. El cálculo lambda	74
2.7. Sistemas formales, realidad e isomorfismos.	78

3. El lenguaje y la inteligencia artificial	84
3.1. ¿Qué es la «inteligencia artificial»?	86
3.2. Enfoques en la inteligencia artificial	90
3.2.1. Enfoque de agentes racionales	91
3.2.2. Enfoques conexionistas	92
3.3. Inteligencia artificial «débil» y «fuerte»	104
3.3.1. Algoritmos mentales y el problema de la «conciencia»	107
3.4. Lenguaje e IA, una reflexión	119
4. La naturaleza del lenguaje	122
4.1. La comunicación animal	127
4.1.1. Comunicación en ranas y abejas	127
4.1.2. Comunicación en las aves	128
4.1.3. Comunicación en los monos	130
4.1.4. Comunicación en los primates	133
4.2. Genética y el desarrollo filogenético	144
4.2.1. El gen FOXP2	144
4.2.2. ¿Es FOXP2 el «gen del lenguaje»?	148
4.2.3. FOXP2 y el lenguaje como herencia	151
4.3. Reflexión sobre la genética del lenguaje	160
5. El programa minimalista	162
5.1. ¿Qué es la sintaxis?	164
5.2. Gramática generativa	168
5.2.1. La gramática como ciencia	169
5.2.2. La facultad del lenguaje y el innatismo	175
5.2.3. Actuación y competencia	182
5.3. Breve revisión del generativismo	185
5.3.1. La teoría estándar (pura y extendida)	187
5.3.2. La teoría de principios y parámetros	199
5.4. El programa minimalista	209
5.4.1. El enfoque biolingüístico y naturalista	210
5.4.2. Algunas definiciones formales	212
5.4.3. La operación «Merge»	216
5.4.4. La operación «copy»	219
5.5. Reflexión en cuanto al Programa Minimalista	222
6. Simulación de sintaxis humana en Python	225
6.1. Metodología experimental	228
6.2. El funcionamiento sintáctico de Merge	229

6.3.	La formalización de Merge y su algoritmo	233
6.4.	Elaboración del algoritmo y el programa	236
6.5.	El programa de simulación del lexicón	243
6.6.	Sobre otros modelos sintácticos	247
7.	Conclusiones	249
7.1.	Propuestas de investigación	251
7.2.	Reflexión final	253
A.	Código de la función Merge en Python	255
B.	Código de la simulación del léxico	261
C.	Código de un modelo de teoría estándar	273
D.	Contenido del lexicón secundario	277



Ésto es un WUG.

Ahora hay más de uno;
hay varios _____. Algunos
de ellos son más grandes, son
_____ ; y otros son más chiqui-
tos, son _____. Tenemos un
grupo de ellos, lo cual se
llama un _____.

NOTAS

NOTAS