

Gramáticas Formales para el Lenguaje Natural

Gramáticas categoriales

Objetivos

- Introducción a un formalismo gramatical
 - Con desarrollos de relevancia
 - Enfoque diferente a las ideas vistas hasta ahora, aunque con puntos de contacto
 - Con implementaciones robustas
- Experimentación con ejemplos simples
 - Categorías básicas
 - Derivaciones simples

Plan

- Introducción, ejemplo
- Categorías y reglas básicas
- Semántica, cálculo lambda
- Composicionalidad
- Reglas de elevación de tipo y composición
- Algunos fenómenos lingüísticos y su resolución en GC

Gramáticas categoriales

- Formalismo gramatical (lenguas naturales)
- Fuertemente vinculado a la lógica
- Primeras formulaciones
 - Ajduckiewics (1935)
 - Bar Hillel (1953)
- Varios sistemas de gramáticas categoriales 2da mitad del S XX
 - Cálculo Lambek y extensiones
 - Gramáticas Categoriales Combinatorias
- Tratamiento robusto (parser probabilístico) S XXI

Gramáticas categoriales

1er ejemplo

Juan come pescado.

O → GN GV

GV → V GN

V → come

GN → Juan | pescado

Juan come pescado.

Categoría básicas

O, GN

Léxico

Juan – GN

pescado – GN

come – (O\GN)/GN

Gramáticas categoriales

1er ejemplo

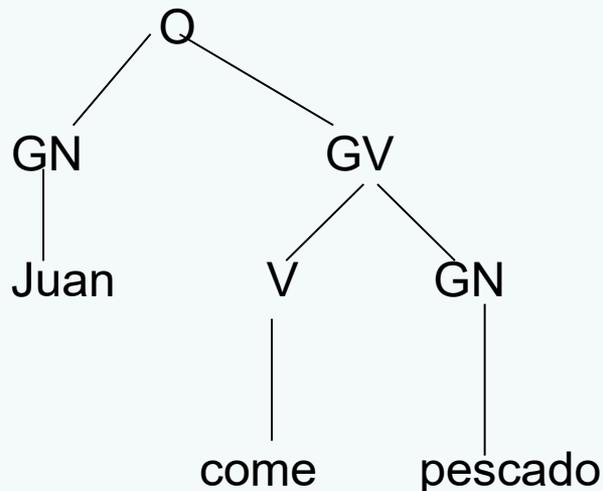
Juan come pescado.

$O \rightarrow GN\ GV$

$GV \rightarrow V\ GN$

$V \rightarrow \text{come}$

$GN \rightarrow \text{Juan} \mid \text{pescado}$



Juan come pescado.

Categoría básicas

O, GN

Léxico

Juan – GN

pescado – GN

come – (O\GN)/GN

Gramáticas categoriales

1er ejemplo

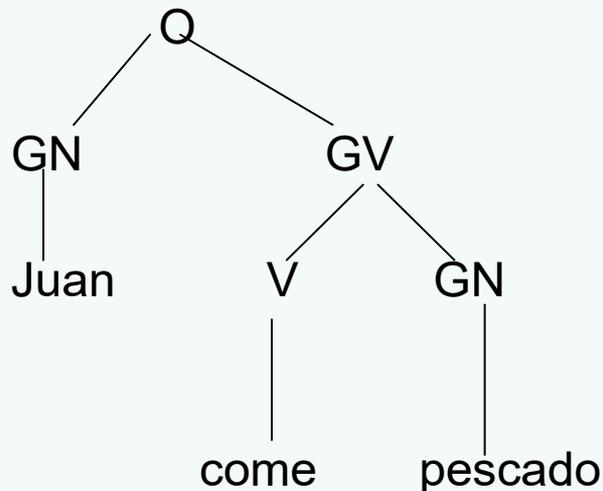
Juan come pescado.

$O \rightarrow GN\ GV$

$GV \rightarrow V\ GN$

$V \rightarrow \text{come}$

$GN \rightarrow \text{Juan} \mid \text{pescado}$



Juan come pescado.

Categoría básicas

O, GN

Léxico

Juan – GN

pescado – GN

come – (O\GN)/GN

(O\GN)/GN GN
come pescado

Gramáticas categoriales

1er ejemplo

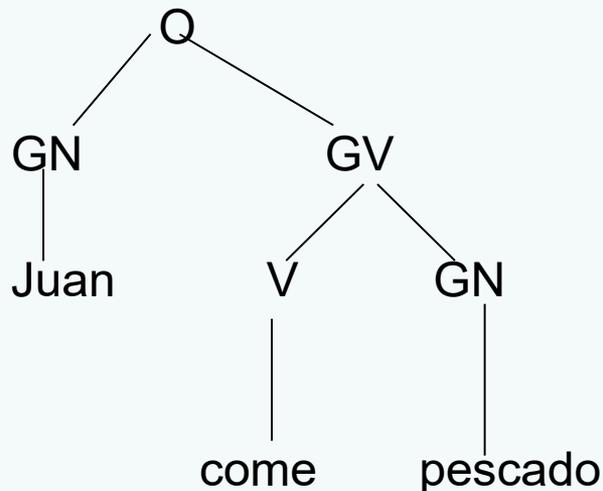
Juan come pescado.

$O \rightarrow GN\ GV$

$GV \rightarrow V\ GN$

$V \rightarrow \text{come}$

$GN \rightarrow \text{Juan} \mid \text{pescado}$



Juan come pescado.

Categoría básicas

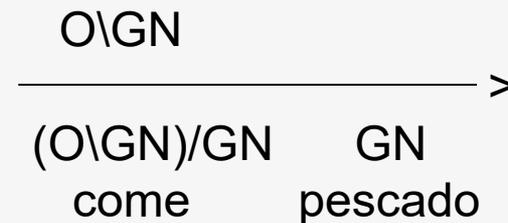
O, GN

Léxico

Juan – GN

pescado – GN

come – $(O \setminus GN) / GN$



Gramáticas categoriales

1er ejemplo

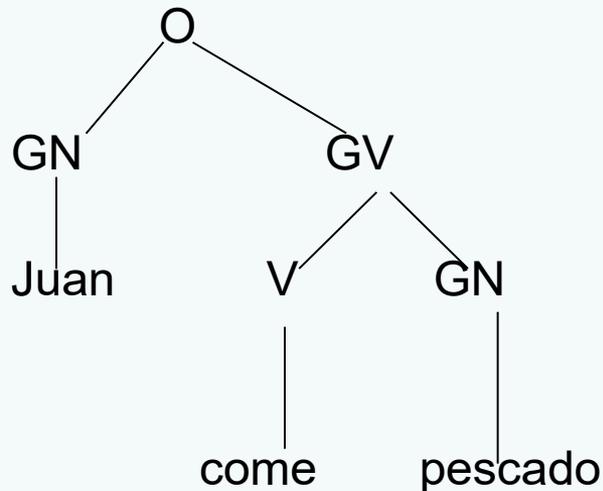
Juan come pescado.

$O \rightarrow GN\ GV$

$GV \rightarrow V\ GN$

$V \rightarrow \text{come}$

$GN \rightarrow \text{Juan} \mid \text{pescado}$



Juan come pescado.

Categoría básicas

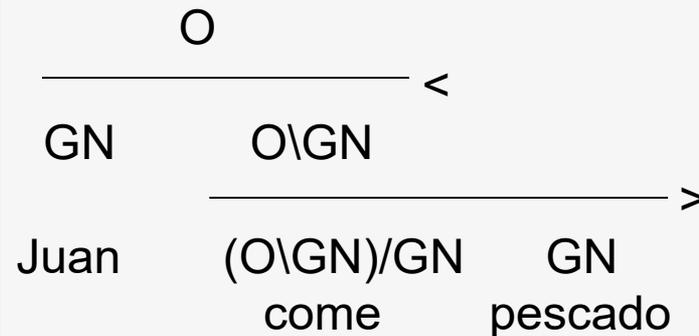
O, GN

Léxico

Juan – GN

pescado – GN

come – (O\GN)/GN



Gramáticas categoriales

1er ejemplo

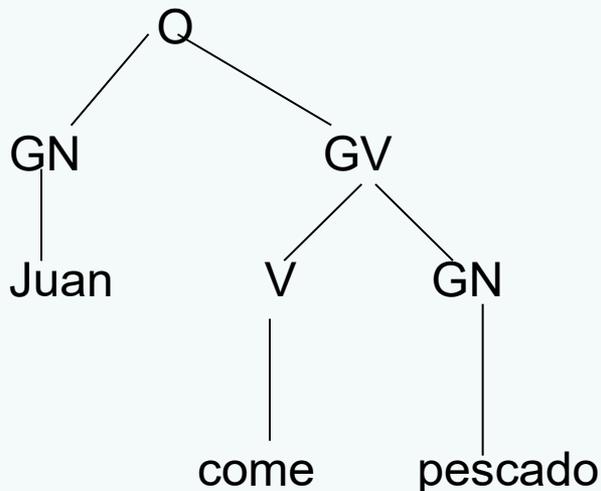
Juan come pescado.

$O \rightarrow GN\ GV$

$GV \rightarrow V\ GN$

$V \rightarrow \text{come}$

$GN \rightarrow \text{Juan} \mid \text{pescado}$



Juan come pescado.

Categoría básicas

O, GN

Léxico

Juan – GN

pescado – GN

come – (O\GN)/GN

Juan come pescado

GN (O\GN)/GN GN

_____ >

O\GN

_____ <

O

(queda el árbol invertido)

Características

- Pocos tipos básicos
 - En el ejemplo: O y GN
- Tipos funcionales
 - Es la característica fundamental de las GC
 - Tipos funcionales
 - $X \setminus Y$ – Categoría que se combina con un Y a la izquierda y da como resultado un X.
 - » Ej.: $O \setminus GN$, $X=O$, $Y=GN$
 - X / Y – Categoría que se combina con un Y a la derecha y da como resultado un X.
 - » Ej.: $(O \setminus GN) / GN$, $X=O \setminus GN$, $Y=GN$

Características

- Pocas reglas de combinación de categorías
- Vimos 2 reglas:
 - Aplicación funcional a la derecha ($>$)
 - Aplicación funcional a la izquierda ($<$)
- Es posible construir una gramática solo con estas reglas
- Veremos un sistema (GCC, Gramáticas Catoriales Combinatorias) que agrega algunas reglas.

Características

- Una derivación se parece a una prueba en lógica.
- Partiendo de las categorías preterminales, se aplican reglas entre categorías contiguas “compatibles”.
- La derivación (prueba) termina cuando llegamos al símbolo inicial de la gramática (o cuando no podemos seguir).

Tipos básicos

- Aparecen en todas las gramáticas:
 - O y N (*N con el carácter de GN*)
- Se agregan otros
 - GN (*diferenciando N y GN*)
 - en algún caso GP (*diferenciando modificador de argumento*)
 - O', *oración subordinada*
- Las categorías distintas de O y N pueden ser vistas como abreviaciones en términos de O y N
 - P.ej., Prep sería $(N \setminus N) / N$ (considerando GN como N, para el caso de modificador de nombre)

Ejemplo (2)

Ana cree que Pablo lee un libro interesante.

- Resolverlo con categorías O y N y reglas de aplicación funcional.

Ejemplo (2)

Ana cree que Pablo lee un libro interesante.

- Resolverlo con categorías O y N y reglas de aplicación funcional.
- Tipos léxicos
 - N : Ana, Pablo, libro
 - N/N : un
 - N\N : interesante
 - (O\N)/N : lee
 - (O\N)/O : cree
 - O/O : que (se suele poner O' a la oración encabezada por *que*)

GC y Lógica

- Las categorías básicas están asociadas a tipos de entidades particulares.
- GN – los individuos,
 - Juan
 - El perro
 - Un gato
- O – las proposiciones, pueden tener un valor de verdad

GC y Lógica

- La gramática categorial está vinculada a la lógica.
- En el léxico, asociada a cada categoría sintáctica, hay un *término semántico*.
- El tipo de la categoría sintáctica y del término semántico están relacionados
 - O (oración) - t , valor de verdad – corre'(Juan')
 - GN (nominal) – e , entidad - x
 - $O \setminus GN$ – (verbo intransitivo) - $\langle e, t \rangle$ - $\lambda x.p'(x)$
 - $(O \setminus GN) / GN$ – (verbo transitivo) - $\langle e, \langle e, t \rangle \rangle$ - $\lambda x.\lambda y.p'(y,x)$

GC y Lógica, cálculo lambda

- Es un modo de expresar funciones
- Indicamos, en un solo término, el valor de la función y los argumentos.
 - $\lambda x. x^2$, función cuadrado, argumento x
 - $f(x)=x^2$
 - $f(x,y)=x^2+y$ — $\lambda x. \lambda y. x^2+y$
 - $f(x)=x^2+y$ — $\lambda x. x^2+y$

Términos Lambda

- Un modo de escribir funciones sin darles nombre
- quiere --- $\lambda x.\lambda y.\text{quiere}(y,x)$
- λ es un operador que liga variables
- Las ocurrencias de una variable ligada por un operador λ son “huecos” para información no especificada.
- Marcan dónde se realizarán sustituciones a medida que avance el análisis

Cálculo Lambda

- La operatoria con los términos lambda se rige por el lambda-cálculo (Church, 1930, 1940)
- Reducción- β (aplicación funcional)
 - $\lambda x. P(\dots, x, \dots)(z) \rightarrow P(\dots, z, \dots)$
- $gv \rightarrow v \text{ gn} \text{ --- } (O \setminus GN) / GN \quad GN \text{ --- } v.\text{sem}(\text{gn}.\text{sem})$
 - $\lambda x. \lambda y. \text{quiere}'(y, x) (\text{maria}') \rightarrow \lambda y. \text{quiere}'(y, \text{maria}')$
- $o \rightarrow \text{gn} \text{ gv} \text{ --- } GN \ O \setminus GN \text{ --- } \text{gv}.\text{sem}(\text{gn}.\text{sem})$
 - $\lambda y. \text{quiere}'(y, \text{maria}') (\text{juan}) \rightarrow \text{quiere}'(\text{juan}', \text{maria}')$

Cálculo Lambda

- Reducción- α (renombrado de variables)
- Al sustituir se pueden producir conflictos por los nombres de las variables: puede quedar accidentalmente ligada una variable.
- Ejemplo: $\lambda x.\lambda y.\text{quiere}(y,x)(y) \rightarrow \lambda y.\text{quiere}(y,y)$.
- Se deben renombrar las variables antes de aplicar la reducción- β

Algunas componentes semánticas

- Verbo intransitivo
 - corre $O \backslash GN$ $\lambda x. corre'(x)$
- Verbo transitivo
 - lee $(O \backslash GN) / GN$ $\lambda x. \lambda y. lee'(y, x)$
- Verbo ditransitivo
 - da $((O \backslash GN) / GN) / GN$ $\lambda x. \lambda y. \lambda z. da'(z, y, x)$
- Adjetivo
 - interesante $N \backslash N$ $\lambda P. \lambda x. (int'(x) \ \& \ P(x))$
- Nombre común
 - libro N $\lambda x. libro'(x)$,
 - Notar que:
 - libro interesante $---$ $\lambda P. \lambda x. (int'(x) \ \& \ P(x)) (\lambda y. libro'(y)) =$
 $\lambda x. (int'(x) \ \& \ \lambda y. libro'(y)(x)) = \lambda x. (int'(x) \ \& \ libro'(x))$

Forma lógica

- El análisis sintáctico no es un fin en si mismo.
- Deseamos obtener un resultado para seguir procesando.
- En GIC obteníamos el árbol de análisis.
- En GC obtenemos una representación semántica.
- La representación semántica está especificada en lógica, le llamamos ***forma lógica***

Principio de composicionalidad

- La forma lógica (semántica de la oración) se obtiene en una construcción incremental.
- Cada regla de la gramática tiene asociada una regla de composición semántica.
- La representación semántica se obtiene composicionalmente a partir del análisis sintáctico.

Principio de composicionalidad

- El lenguaje es siempre composicional?

Principio de composicionalidad

- El lenguaje es siempre composicional?
- NO
- Hay expresiones compuestas por más de una palabra cuyo significado no es la composición de los significados de las partes.
 - *ojo de buey*
 - *dar un beso | dar la mano | dar las gracias*
- Se debe encontrar una solución a esto
- GIC y HPSG tienen el mismo problema

Reglas adicionales

- Existen distintos sistemas de GC.
- En general agregan 2 tipos de reglas a las reglas básicas de aplicación funcional.
- También se parte de la base de que existe un tipo muy general para la coordinación.
- Veremos las siguientes reglas:
 - Elevación de tipo
 - Composición

Elevación de tipo

- Regla que se aplica a una única categoría para formar una nueva categoría.
- 2 variantes : hacia la izquierda y hacia la derecha

$$X \rightarrow Y/(Y \setminus X) \quad (T >)$$

$$X \rightarrow Y \setminus (Y / X) \quad (T <)$$

- Nos permite pasar de un tipo que es argumento a otro que es functor, cambia el modo en que se realizan las aplicaciones

Elevación de tipo, ejemplo

- *Ana comió pizza.*

GN – *Ana, pizza*

(O\GN)/GN – *comió*

- Elevar el tipo de *Ana* nos permite realizar un análisis incremental de izquierda a derecha.

Elevación de tipo, ejemplo

- *Ana salió.*

GN – *Ana*

O\GN – *salió*

GN O\GN **$X \rightarrow Y / (Y \setminus X) (T >)$**

GN \rightarrow O/(O\GN) (T>) *Elevamos GN con el tipo O*

O/(O\GN) O\GN ... O (mediante (>))

Composición

- La elevación de tipo se usa en general en conjunto con la composición.
- Se definen también 2 reglas de composición, izquierda y derecha.

$$X/Y \ Y/Z \rightarrow X/Z \quad (C>)$$

$$X\Y \ Y\Z \rightarrow X\Z \quad (C<)$$

Composición

$$X/Y \quad Y/Z \rightarrow X/Z \quad (C>)$$

Si buscamos un argumento hacia la derecha (Y) y encontramos una categoría compleja (Y/Z), cuyo functor es el argumento que buscamos, podemos cancelar el argumento de la primera con el functor de la segunda, formando un tipo que tiene como functor el functor de la primera y como argumento el argumento de la segunda.

Composición y elevación de tipo

- Se suelen usar combinadas
- Permiten análisis incrementales de izquierda a derecha

Juan lee un libro.

GN --- *Juan*

GN/N --- *un*

N --- *libro*

(O\GN)/GN --- *lee*

Composición y elevación de tipo

Juan lee un libro.

GN --- *Juan*
 GN/N --- *un*
 N --- *libro*
 (O\GN)/GN --- *lee*

Juan

GN

lee

(O\GN)/GN

un

GN/N

libro

N

_____ (T>)

O/(O\GN)

(C>)

O/GN

(C>)

O/N

(>)

O

La coordinación

- Se suele tratar con una variable de categoría

y --- $(X \setminus X) / X$

Juan y Pedro --- GN $(X \setminus X) / X$ GN

La X se instancia en GN, todo el grupo forma un GN

corrió y saltó --- $O \setminus GN$ $(X \setminus X) / X$ $O \setminus GN$

La X se instancia en $O \setminus GN$, todo el grupo forma un $O \setminus GN$

Componentes semánticas

- Aplicación funcional
 - $\mathbf{X/Y: \lambda x.f(x) \ Y:a \rightarrow X: f(a)}$
- Composición de funciones
 - $\mathbf{X/Y: \lambda x.f(x) \ Y/Z: \lambda y.g(y) \rightarrow X/Z: \lambda y.f(g(y))}$
- Elevación de tipo
 - $\mathbf{X:a \rightarrow T/(T\setminus X): \lambda f.f(a)}$

Algunos fenómenos lingüísticos

- Control

Juan quiere salir.

Juan le prohibió salir a Pedro.

Se resuelven co-indexando constituyentes

- Relativas

El libro que Juan compró

- Coordinación de no constituyentes

Juan conjeturó y Pedro probó la completitud.

Algunos fenómenos lingüísticos

- Control

Juan quiere salir.

Juan le prohibió salir a Pedro.

- La componente semántica requiere recuperar el sujeto no explícito del infinitivo (*salir*) . Es el verbo de la principal quien determina qué argumento controla (es sujeto de) la infinitiva. *Querer* es de control sujeto, *prohibir* de control OI.

Se resuelven co-indexando constituyentes

Algunos fenómenos lingüísticos

- Relativas

El libro que Juan compró

- Juan compró es una oración “incompleta”. Se debe aceptar como argumento de *que* y, además, transferir el antecedente de *que* como argumento de *compró*.

Algunos fenómenos lingüísticos

- Coordinación de no constituyentes
 - *Juan conjeturó y Pedro probó la completitud.*
 - La coordinación suele ir acompañada de elipsis. En este caso, se omitió *la completitud* luego de *conjeturó*. Las GCC tienen un esquema de tipos flexible, y mediante elevación de tipo y composición se forman constituyentes de tipo O/GN (Juan conjeturó, Pedro probó) que se coordinan y combinan luego con el COD común.

Algunos fenómenos lingüísticos

- Determinantes y la forma lógica
 - *un libro, el libro, todos los libros*
 - Qué categorías sintácticas tienen los determinantes ?
 - Qué forma lógica tienen ?

Algunos fenómenos lingüísticos

- Determinantes y la forma lógica
 - *un libro, el libro, todos los libros*
 - Qué categorías sintácticas tienen los determinantes ?
 - Qué forma lógica tienen ?
- un, el, todos_los → GN/N

Algunos fenómenos lingüísticos

- Determinantes y la forma lógica
 - *un libro, el libro, todos los libros*
 - ¿Qué categorías sintácticas tienen los determinantes ?
 - ¿Qué forma lógica tienen ?
- un, el, todos_los → N/N
- ¿Cómo representamos en lógica:

Todos los hombres duermen.

Un niño duerme.

Algunos fenómenos lingüísticos

- Determinantes y la forma lógica
 - *un libro, el libro, todos los libros*
 - ¿Qué categorías sintácticas tienen los determinantes ?
 - ¿Qué forma lógica tienen ?un, el, todos_lo → N/N
¿Cómo representamos en lógica:

Todos los hombres duermen

$\forall x (\text{hombre}(x) \rightarrow \text{duerme}(x))$

Algunos fenómenos lingüísticos

- Determinantes y la forma lógica
 - *un libro, el libro, todos los libros*
 - ¿Qué categorías sintácticas tienen los determinantes ?
 - ¿Qué forma lógica tienen ?un, el, todos_lo → N/N
¿Cómo representamos en lógica:

Un niño duerme.

$\exists x (\text{niño}(x) \wedge \text{duerme}(x))$

Algunos fenómenos lingüísticos

- Determinantes y la forma lógica
 - *un libro, el libro, todos los libros*
 - *Los determinantes se aplican sobre los nombres y el resultado se aplica sobre los verbos !!*

Algunos fenómenos lingüísticos

Determinantes y la forma lógica

- *un libro, el libro, todos los libros*
- *Los determinantes se aplican sobre los nombres y el resultado se aplica sobre los verbos !!*

un – $(O/(O \setminus GN))/N \dots \lambda P. \lambda Q. \exists x(P(x) \wedge Q(x))$

Gramáticas categoriales de unificación

- En la práctica, las categorías (o componentes de categorías funcionales) no son atómicas.
- Se usan estructuras de rasgos, con reentrancia (valores compartidos), similar a las *TFS*.
- Para aplicar X/Y_1 a Y_2 , Y_1 y Y_2 deben ***unificar***.

Ejercicio

Indicar las categorías y realizar las derivaciones sintáctico-semánticas para los siguientes ejemplos. Coindizar las expresiones nominales siempre que sea pertinente. Utilizar O, GN y N como categorías básicas, considerar “todos los” como una unidad léxica.

1.- Llegaron todos los trenes.

2.- Juan quiere bailar.

3.- María dijo que Juan quiere cantar.

Parsers robustos

- Open CCG
<http://openccg.sourceforge.net/>
- Probabilístico
- Basado en el Penn Tree Bank
- Performance similar a otros parsers probabilísticos.

Referencias

Ma. Teresa Solías, *Gramática Categorial, Modelos y aplicaciones*.
Síntesis, Madrid, 1996 , ISBN:84-7738-426-6

Mark Steedman and Jason Baldrige. 2011. Combinatory Categorical Grammar. In Robert Borsley and Kersti Borjars (eds.) *Non-Transformational Syntax: Formal and Explicit Models of Grammar*. Wiley-Blackwell. (pdf preprint accessible web)