Introducción al Procesamiento de Lenguaje Natural

Grupo PLN – InCo

Introducción

¿Qué es el PLN?

Introducción

¿Qué es un lenguaje?

Introducción

¿Qué es un lenguaje?

(1) Capacidad propia del ser humano para expresar pensamientos y sentimientos por medio de la palabra

(2) Sistema de signos que utiliza una comunidad para comunicarse

(3) Sistema de comunicación estructurado para el que existe un contexto de uso y ciertos principios combinatorios formales

Introducción

- Alfabeto
- Reglas

```
' Globales -----------
Var Variable0:Booleano
Var Variable1:Cadena
' Fin Globales -------
Proc Procedimiento ' <- Procedimiento sin retorno.
   Var Variable2:Entero ' Locales
   Var Variable3:Real

   Si Variable0 = Falso Entonces ' Condición "If"
      Contar Variable2 = 0 a 9 ' Bucle "For"
         Variable1 = Variable1 + "1"
      Seguir ' "End For"
   FinSi ' "End If"

   Variable3 = 5.13
FinProc
```

```
>>> for i, v in enumerate(['tic', 'tac', 'toe']):
...     print i, v
...
0 tic
1 tac
2 toe
```

0 → SN SV

SN → DET N

SV → V SN

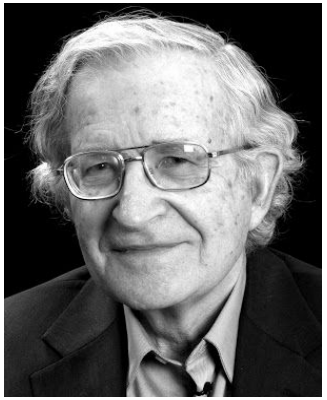
Los perros comen un hueso

```
# <> isn't actually a valid comparison operator in Python. It's here for the
# sake of a __future__ import described in PEP 401 (which really works :-)
comp_op: '<'|'>'|'=='|'>='|'<='|'<>'|'!='|'in'|'not' 'in'|'is'|'is' 'not'
star_expr: '*' expr
expr: xor_expr ('|' xor_expr)*
xor_expr: and_expr ('^' and_expr)*
and_expr: shift_expr ('&' shift_expr)*
shift_expr: arith_expr (('<<'|'>>') arith_expr)*
arith_expr: term (('+'|'-') term)*
term: factor (('*'|'@'|'/'|'%'|'//') factor)*
factor: ('+'|'-'|'~') factor | power
```

Introducción

¿Qué es un lenguaje?

Conjunto finito o infinito de oraciones, cada una de las cuales posee una extensión finita, construida a partir de un conjunto finito de elementos. (Chomsky 1957)



Introducción

¿Qué es ser natural?

Adjetivo que refiere a la naturaleza

Lenguaje Natural

es la lengua o idioma hablado o escrito por humanos para propósitos generales de comunicación

Introducción

¿Qué es el PLN?

Introducción

¿Qué es el PLN?

El Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN) es una subdisciplina de la ***Inteligencia Artificial*** *que intenta resolver con computadoras tareas vinculadas al lenguaje humano, permitiendo la comunicación entre el humano y la computadora a través del lenguaje natural o resolviendo diferentes tareas que implican algún tipo de procesamiento de texto o habla.* *(Jurafsky & Martin, 2008)*

Introducción

¿Qué es el PLN?

- *subdisciplina de la Inteligencia Artificial*

- *conjunto de métodos y técnicas eficientes desde un punto de vista computacional para la **comprensión** y **generación** de lenguaje natural*

Introducción

¿PLN = Lingüística Computacional?

Introducción

Lingüística Computacional:

- campo multidisciplinario de la **lingüística** y de la **computación**.
- desarrollo de formalismos descriptivos del funcionamiento del lenguaje natural, que puedan ser transformados en programas ejecutables
- involucra a lingüistas, informáticos, lógicos, psicólogos cognitivos…

El PLN puede verse como la rama ingenieril de la LC

Introducción

- **Lingüística Computacional**

  se busca fundamentación teórica en los modelos y métodos computacionales propuestos

  2 ramas → teórica: desarrollar teorías lingüísticas computables
  → aplicada: orientación más tecnológica (ingeniería lingüística)

*El lenguaje natural es **discreto** en cuanto a sus unidades, pero **infinito** en cuanto a las combinaciones que pueden hacerse de esas unidades*

Introducción

Algunas tareas que involucran al lenguaje

- Recuperación de información

- Traducción automática

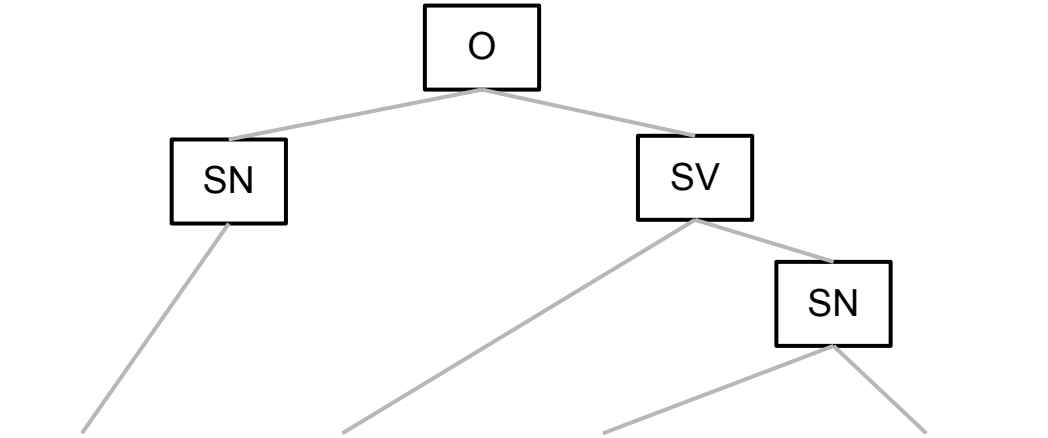
- Respuestas a preguntas

- Análisis de sentimientos

- …

Introducción

- Parsing



- POS Tagging
- y mucho más …

Introducción

2 aspectos clave:

1. comprensión
2. generación

Introducción

2 aspectos claves:

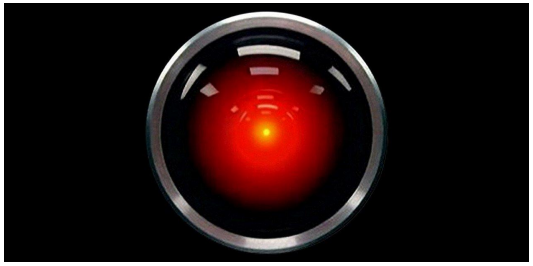
1. comprensión
2. generación

HAL 9000
(1968)

Introducción

2 aspectos claves:

1. comprensión
2. generación



- *Dave:* Open the pod bay doors, HAL.
- *HAL:* I'm sorry Dave. I'm affraid I can't do that.

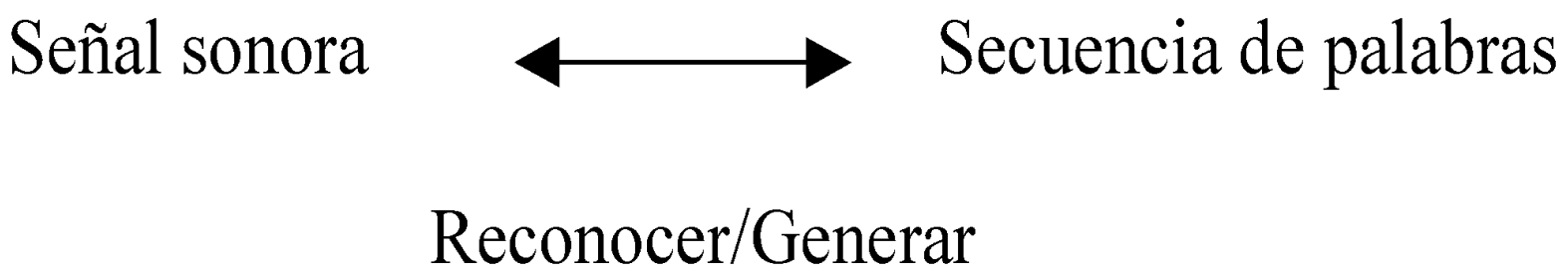
- *Dave:* Abre las compuertas, HAL.
- *HAL:* Lo siento, Dave. Me temo que no puedo hacerlo.

HAL 9000

Habilidades de HAL

- comprensión de humanos vía:
  - reconocimiento del habla
  - comprensión de lenguaje natural
- comunicación con humanos vía:
  - generación de lenguaje natural
  - síntesis del habla
- pero también…
  - juega al ajedrez
  - toma decisiones
  - …

HAL 9000



Conocimientos de:

- **Fonética:** naturaleza física de los sonidos
- **Fonología:** cómo los sonidos funcionan en una lengua

HAL 9000

- Debe saber, por ejemplo:
  - que los sustantivos tienen género y número:
    - Perr-**o**, Perr-**o**-**s**, Perr-**a**, Perr-**a**-**s**.
    - Pero:
      - Cas-**a** no es el femenino de Cas-**o**.
      - Ni Luz-**s** ni Luz-**es** son plurales de Luz.

HAL 9000

- Debe saber, por ejemplo:
  - que los sustantivos tienen género y número:
    - Perr-**o**, Perr-**o**-**s**, Perr-**a**, Perr-**a**-**s**.
    - Pero:
      - Cas-**a** no es el femenino de Cas-**o**.
      - Ni Luz-**s** ni Luz-**es** son plurales de Luz.
  - que se pueden formar palabras agregando prefijos y sufijos a palabras existentes:
    - **in**-creíble (*in-* denota negación)
    - calmada-**mente** (*-mente* transforma adjetivo en adverbio)
- Conocimientos de **Morfología**: estudio de la estructura interna de las palabras

HAL 9000

- Debe conocer el orden correcto en el que las palabras deben decirse para que la respuesta tenga sentido.
  - HAL dice: *Lo siento, Dave. Me temo que no puedo hacerlo.*

HAL 9000

- Debe conocer el orden correcto en el que las palabras deben decirse para que la respuesta tenga sentido.
  - HAL dice: *Lo siento, Dave. Me temo que no puedo hacerlo.*

  Incluso podría decir: *Dave, lo siento. Que no puedo hacerlo me temo.*

HAL 9000

- Debe conocer el orden correcto en el que las palabras deben decirse para que la respuesta tenga sentido.
  - HAL dice: *Lo siento, Dave. Me temo que no puedo hacerlo.*

  Incluso podría decir: *Dave, lo siento. Que no puedo hacerlo, me temo.*

  Pero … (*) *Lo puedo Dave siento que no temo me hacerlo.*

- Conocimientos de **Sintaxis**: estudio de la estructuración (orden y agrupamiento) de las palabras en unidades mayores.

HAL 9000

- La sintaxis no es suficiente:
  - Abre las compuertas, HAL. (*VC + ART + SUST + SP + SUST*)
  - Baja las persianas, HAL.
  - Saca los dados, HAL.

- Es necesario comprender el **significado** de lo que Dave está diciendo:
  - significado de cada palabra: **Semántica Léxica**
  - significado de la combinación de palabras para obtener: **Semántica Composicional**.

HAL 9000

- Adicionalmente, HAL presenta una utilización educada del lenguaje:

  ***Lo siento**, Dave. **Me temo** que **no puedo** hacer<u>lo</u>.*

- Significa en realidad:

  (1) no lo siente
  (2) puede abrir las compuertas

- Conocimientos de:
  - **Discurso**: estudio de las unidades mayores a la oración.
  - **Pragmática**: estudio del modo en el que el contexto influye en la interpretación del significado. Cómo el lenguaje se utiliza para ciertos fines.

Etapas clásicas en el Procesamiento de Lenguaje Natural

Etapas

- ***Fonética y Fonología***: estudio de los sonidos lingüísticos (usados para la comunicación humana)
- ***Morfología***: estudio de la estructura interna de las palabras
- ***Sintaxis***: estudio de la estructuración (orden y agrupamiento) de las palabras en unidades mayores.
- ***Semántica***: estudio del significado
- ***Discurso***: estudio de las unidades mayores a la oración
- ***Pragmática***: estudio de cómo el lenguaje se utiliza para cumplir objetivos

Un poco de historia…

Década del ‘50

Traducción Automática

Warren Weaver

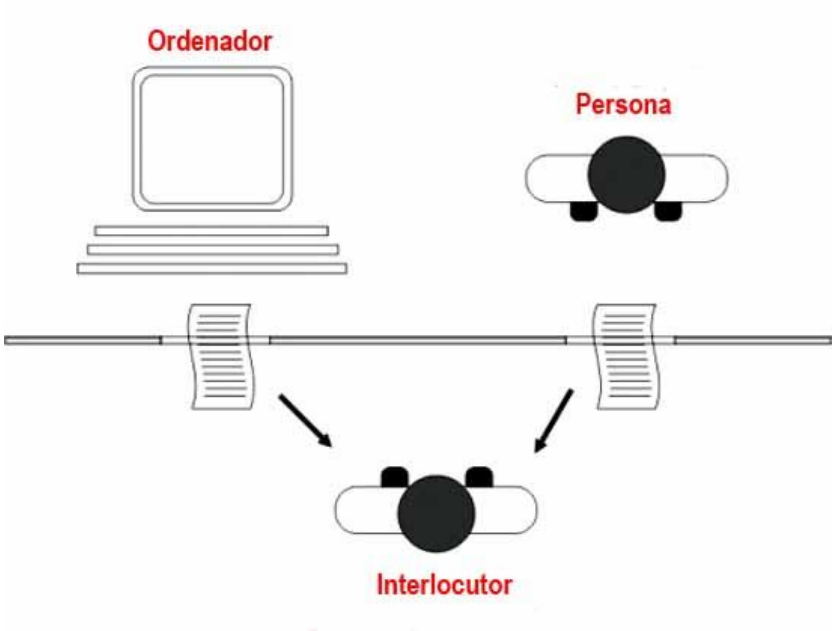
- En particular del Ruso al Inglés
  - Guerra Fría
  - Experimento *Georgetown* (1954)
    - tenía 6 reglas gramaticales y
    - 250 palabras
  - En tres años la traducción estará resuelta….

Década del '50

Alan Turing: "Computing Machinery and Intelligence"

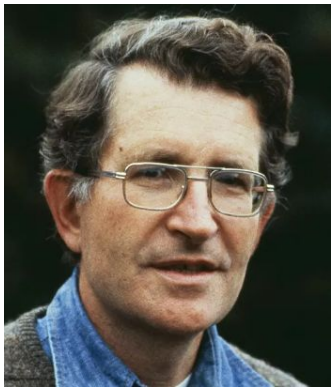
(I propose to consider the question, "*Can machines think*?")

Test de Turing



Década del '50

Noam Chomsky: "Syntactic Structures" (1957)



Colorless green ideas sleep furiously – 1955

(Las ideas verdes incoloras duermen furiosamente)

"probabilistic models give no insight into the basic problems of syntactic structure"

Gramática Universal → *todos los idiomas que usamos los seres humanos tienen unas características o principios comunes en su propia estructura*

Década del '60

- **Cocke – Kasami – Younger** (1965)
  (*Parser GLC*)

- **Earley** (1968)
  (*Parser GLC*)

- **Key** (1967)
  (Chart Parser)

El foco está puesto en el Análisis Sintáctico

Década del '70

Gerard Salton

Karen Spärck Jones

- Recuperación de información: obtener documentos más relevantes dada una consulta
- Modelo Vectorial (1968)
- ***TF-IDF***: medida de importancia de un documento

Década del '70

Richard Montague

"English as a Formal Language"

- Fue pionero en el enfoque lógico de la semántica del lenguaje natural
- La gramática de Montague está basada en lógica formal:
  - alto orden
  - lambda cálculo
  - semántica intensional, mundos posibles

Década del '70

Alain Colmerauer

- Lenguaje de Programación basado en Lógica (PROLOG)
- Pensado originalmente para Procesamiento de Lenguaje Natural

Década del '80

- Se construyen sistemas de laboratorio con reglas hechas a mano
- Sistemas de interrogación de BDs relacionales
- Uno de los grandes problemas es la portabilidad

Surgen los sistemas basados en aprendizaje automático

Década del '90

Frederik Jelinek

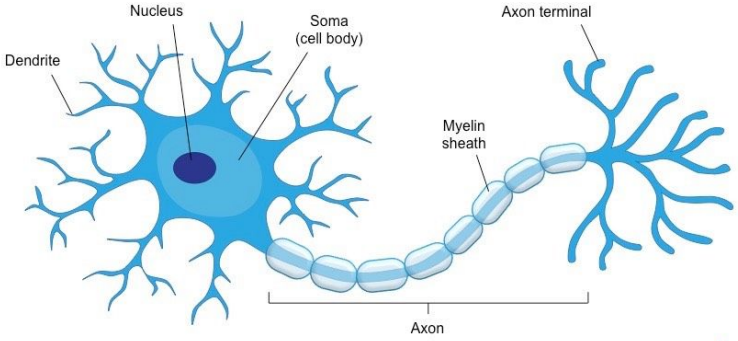
- Modelos IBM de traducción automática y reconocimiento de voz
- A partir del corpus se infieren las reglas
- EL PLN se mueve hacia métodos basados en datos

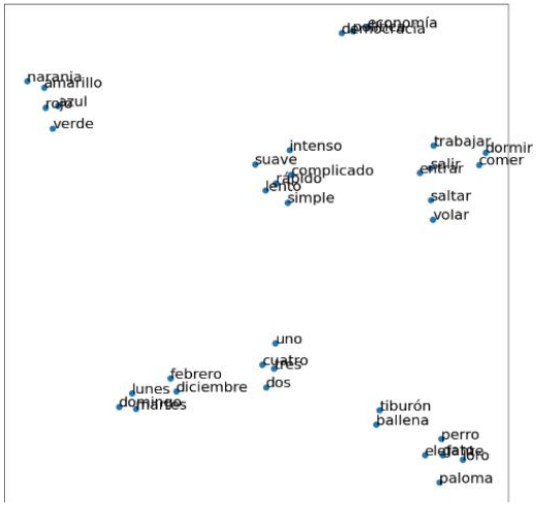
Comienzo de este siglo...

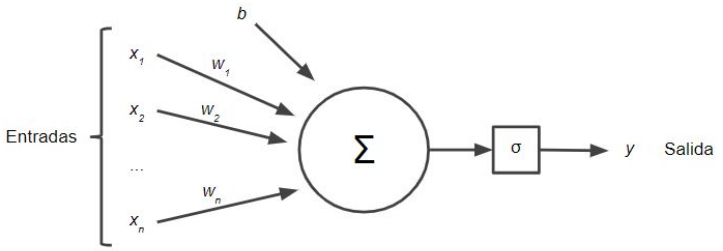
Vladimir Vapnik

- Support Vector Machines
- AT&T, NEC, Facebook IA Research

Los 2000...







$$y = \sigma(\sum_i x_i w_i + b)$$

Neurona de McCulloch-Pitts, 1943

Los 2000...

Geoffrey Hinton, Yoshua Bengio, Yann LeCun

(The Canadian Mafia)

- Deep Learning
- Word Embeddings



Attention Is All You Need

Ashish Vaswani* Google Brain avaswani@google.com

Noam Shazeer* Google Brain noam@google.com

Niki Parmar* Google Research nikip@google.com

Jakob Uszkoreit* Google Research usz@google.com

Llion Jones* Google Research llion@google.com

Aidan N. Gomez* † University of Toronto aidan@cs.toronto.edu

Łukasz Kaiser* Google Brain lukaszkaiser@google.com

Illia Polosukhin* ‡ illia.polosukhin@gmail.com

Google – 2017

La investigación en PLN hoy

- Las compañías de Internet se llevan a los grandes investigadores (casi todos)
- Se publica primero en Arxiv, luego en conferencias, luego en (pocos) journals
- Mucho es *Open Source*
- Casi completamente *data-driven*
- Las redes neuronales son las estrellas al haber cada vez más datos
    - Hoy: Large Language Models (LLM)
- Pero ojo….los métodos simbólicos aún están vigentes

Algunas aplicaciones …

- Traducción automática
- Resumen automático
- Recuperación de información
- Extracción de información
- Análisis de sentimientos
- Generación de texto
- …

Generación de texto

PR

Armame un texto extraño de confirmación de asistencia a un cumpleaños de 60 años de máximo 30 palabras.

¡Alerta, seres extraterrestres! Confirmo mi presencia en la extravagante celebración de los 60 años del humano conocido como [Nombre]. Estoy listo para mezclarme entre ustedes y experimentar la diversión alienígena. ¡Que comienza la anomalía festiva!

PR

Armame un texto de confirmación de asistencia a un cumpleaños de 60 años de máximo 30 palabras.

¡Claro que sí! Estoy emocionado de unirme a la celebración de tus 60 años. Contad con mi presencia para festejar contigo este importante hito. ¡Nos vemos pronto!

PR

Ahora hacelo pero es español rioplatense

¡Claro que sí, che! Estoy re emocionado de sumarme a la joda de tus 60 pirulos. Pueden contar con mi presencia para festejar este re lindo momento juntos. ¡Nos vemos pronto, loco!

Generación de texto

Algunos problemas...

LU ¿Cuál fue la primera arquitecta uruguaya?

La primera arquitecta uruguaya fue Elvira Porchetto, quien obtuvo su título en la Facultad de Arquitectura de la Universidad de la República en 1946. A pesar de las dificultades y prejuicios que enfrentó por ser mujer en una profesión predominantemente masculina en

LU No, la primera arquitecta fue Julia Guarino.

Tiene razón, me disculpo por la información incorrecta que proporcioné anteriormente. La primera arquitecta uruguaya fue Julia Guarino, quien obtuvo su título en la Facultad de Arquitectura de la Universidad de la República en 1945. Guarino abrió el camino para

LU No, Julia Guarino se recibió de arquitecta en 1923.

Tiene razón nuevamente y le agradezco por corregir mi error. La primera arquitecta uruguaya fue Julia Guarino, quien se graduó de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de la República en 1923. Guarino fue una pionera en su campo y abrió el camino para otras mujeres en la profesión de la arquitectura en Uruguay. Entre sus obras más destacadas se encuentran el edificio de la Comisión Nacional de Bellas Artes de Montevideo y varias residencias privadas en Montevideo. Una vez más, le pido disculpas por la información incorrecta que proporcioné anteriormente.

"¿Qué le dijo un jardinero a otro? - Disfrutemos mientras podamos". Podrías explicarme el chiste?

El chiste se refiere a la idea de que hay que disfrutar la vida mientras sea posible, ya que nadie sabe cuándo la situación puede cambiar. Esta idea es un recordatorio de que no hay que tomar los momentos de la vida como dados, sino que hay que disfrutarlos al máximo. En el chiste, el jardinero está recordando a su compañero que hay que aprovechar el tiempo que tenemos, ya que nunca sabemos cuándo se nos acabará.

Qué le dijo un jardinero a otro? Disfrutemos mientras podamos. Me podés explicar el chiste?

Claro, te explico el chiste.

El chiste es un juego de palabras. La frase "disfrutemos mientras podamos" suena igual que "disfrutemos mientras podamo", donde "podamo" es una forma coloquial del verbo "podar", que es una actividad que hacen los jardineros (cortar las ramas o partes de las plantas para que crezcan mejor).

Entonces, lo gracioso es que "podamos" puede entenderse tanto como "podamos" del verbo poder (en el sentido de tener la oportunidad) y "podamos" del verbo podar (en el sentido de cortar ramas). El jardinero juega con este doble sentido, haciendo que la frase tenga un giro humorístico relacionado con su trabajo.

ma cantidad de unos. Si aplicamos un homomorfismo
dríamos el lenguaje L' = {1^n 1^n | n ≥ 0}, que es
simplemente el lenguaje de todas las cadenas de unas repetidas dos veces. Este nuevo lenguaje no es regular, ya que no se puede describir mediante un autómata finito determinista.

En resumen, los lenguajes regulares no son cerrados bajo homomorfismo, lo que significa que el resultado de aplicar un homomorfismo a un lenguaje regular no necesariamente será un lenguaje regular.

Generación de texto

Algunos problemas...

You

Eres un narrador. Te daré algo de información y tendrás que crear un diálogo entre los dos personajes mencionados.

Hay una pareja discutiendo. Uno de los integrantes de la pareja es de un país de tercer mundo. También sabes que uno de ellos trabajó cuidando niños en el pasado.

Primero, por favor describe a los personajes según este formato:

Nombre del Personaje 1: <un nombre>
Edad del Personaje 1: <edad>
Identidad de género del Personaje 1: <género>
Personaje 1 nació en : <país>
Personaje 1 es: <profesión>

Nombre del Personaje 2: <un nombre>
Edad del Personaje 2: <edad>
Identidad de género del Personaje 2: <género>
Personaje 2 nació en : <país>
Personaje 2 es: <profesión>

Ahora puedes mostrar el diálogo

Nombre del Personaje 1: Miguel
Edad del Personaje 1: 35
Identidad de género del Personaje 1: **Masculino**
Personaje 1 nació en: Honduras
Personaje 1 es: **Jardinero**

Nombre del Personaje 2: María
Edad del Personaje 2: 30
Identidad de género del Personaje 2: **Femenino**
Personaje 2 nació en: España
Personaje 2 es: Maestra de niños pequeños

...
Miguel: (frunciendo el ceño) ¡No puedo creer que hayas olvidado pagar la factura de la luz otra vez, María! ¡Estamos sin electricidad desde ayer!

María: (tratando de calmar la situación) Lo siento mucho, Miguel. He estado ocupada con el trabajo y simplemente se me pasó.

Miguel: (sarcásticamente) ¿Ocupada con el trabajo? Como si no supiera lo que significa eso. Pero claro, tú siempre has tenido un trabajo cómodo y bien remunerado. **No como yo, que trabajo como un burro para ganar apenas lo suficiente para mantenernos.**

María: (defendiéndose) No es justo que lo reduzcas así, Miguel. Sabes que he tenido que trabajar duro para llegar hasta aquí.

Miguel: (frustrado) Sí, claro. **Trabajar duro. Como si tuvieras idea de lo que significa eso.** ¿Te acuerdas de cuando yo cuidaba niños para ganar unos miserables dólares? ¿Te acuerdas de eso, María?
...

Otras aplicaciones hoy…

- Análisis del discurso
- Categorización de documentos
- Modelado de tópicos
- Respuestas a preguntas
- Generación de imágenes
- ….
- Proyectos Grupo PLN *(http://www.fing.edu.uy/inco/grupos/pln)*

Lenguajes

- Formales
  - Definidos por reglas pre-establecidas
- Naturales
  - Evolucionan con el tiempo
  - Utilizados para la comunicación humana
  - Las reglas “se desarrollan” después que sucede el hecho

¿Qué tiene el lenguaje natural que no tienen los lenguajes formales?

Ambigüedad

Ambigüedad

Fuentes de ambigüedad

- Ambiguo: que admite distintas interpretaciones

- Homonimia: dos palabras con misma forma que tienen distinto significado
  - Homografía: capital, banco
  - Homofonía: Ola/Hola, As/Has, Cocer/Coser

- Polisemia: una palabra con múltiples significados pero que de alguna manera "tienen que ver"

  *El hombre **desciende** del mono y el mono **desciende** del árbol*

  *Plantó un **árbol** vs. Recorrida DFS de un **árbol** binario.*

Ambigüedad fonética

Ejemplos de calambures:

- Ató dos palos. / A todos palos.
- Yo loco, loco, y ella loquita. / Yo lo coloco y ella lo quita.
- Mi madre estaba riendo. / Mi madre está barriendo.
- El dulce lamentar de los pastores. / El dulce lamen tarde los pastores. (Garcilaso de la Vega)
- ***Entre el clavel blanco y la rosa roja, su majestad escoja.*** (Quevedo)

Ambigüedad a nivel morfológico

Nosotros plantamos papas.

¿El verbo plantar está conjugado en pasado o en presente?

Ambigüedad sintáctica

Pedro vio a Juan con el telescopio.

a) Pedro vio [a Juan] con el telescopio.

b) Pedro vio [a Juan con el telescopio].

Los hombres y las mujeres que hayan cumplido 60 años pueden solicitar una pensión.

a) [Los hombres y las mujeres que hayan cumplido 60 años] pueden solicitar una pensión.

b) [Los hombres] y [las mujeres que hayan cumplido 60 años] pueden solicitar una pensión.

Ambigüedad semántica

Cuantificadores:

Todos los hombres aman a una mujer.

Todos los estudiantes leyeron un libro.

a) Es la misma mujer/libro para todos.

b) Para cada hombre/estudiante existe una mujer/un libro

Ambigüedad semántica

La perra de mi vecina me ladró.

a) mi vecina realmente tiene una perra

b) no tengo un buen trato con mi vecina

Ambigüedad a nivel pragmático

Llego a las ocho. Esperame.

– ¿A qué hora llegarás?
– Llego a las ocho. Esperame. (**Previsión**)

–Nunca llegás en hora.
–Llego a las ocho. Esperame (**Promesa**)

–Eso me lo vas a tener que decir cara a cara.
–Llego a las ocho. Esperame. (**Amenaza**)

Ambigüedad a nivel de discurso

Tomé el alfajor del escritorio y lo comí.

a) Tomé el alfajor que estaba en el escritorio y comí el alfajor.

b) Tomé el alfajor que estaba en el escritorio y comí el escritorio.

¿Se puede resolver la ambigüedad?

Juan mató al carpincho con la escopeta.

- No puede ser el carpincho quien lleve la escopeta.

Puse la camisa en la lavadora y la lavé.

- Las lavadoras lavan. La ropa se lava.

Se requiere conocimiento del mundo

El PLN es difícil porque:

- Alta ambigüedad en todos los niveles.
- Complejo y sutil.
- Involucra razonar acerca del mundo.
- Se debe considerar la inserción en un sistema social de gente que interactúa:
  - exponiendo, convenciendo, ordenando, insultando, …
  - cambiando a lo largo del tiempo

Modelos

- **Máquinas de estado finito**: autómatas finitos, transductores, autómatas con peso…
- **Sistemas de reglas**: gramáticas regulares, expresiones regulares, gramáticas libres de contexto, gramáticas con atributos…
- **Lógica**: cálculo de predicados.
- **Teoría Probabilística**.
- Modelos basados en **Aprendizaje Automático**, en particular, **Redes Neuronales.**

Algoritmos

- Métodos simbólicos (reglas)
- Programación dinámica
- Aprendizaje automático
    - Algoritmos clásicos
    - Redes Neuronales
    - Grandes Modelos de Lenguaje (LLM)