

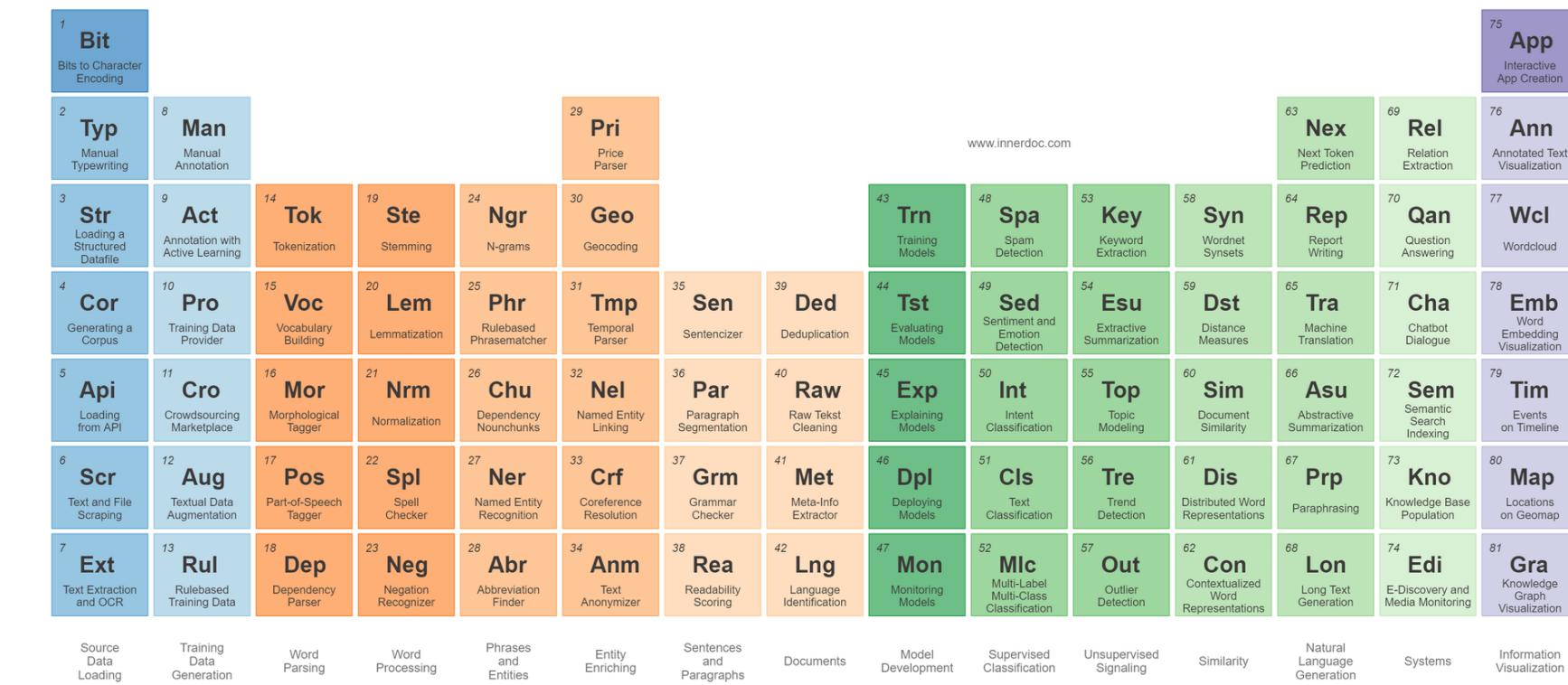
# 7. Processament del llenguatge natural

Models d'intel·ligència artificial



# Processament del llenguatge natural

- **Definició:** camp de la IA que tracta de la interacció entre els ordinadors i el llenguatge humà.
- Se centra en la **comprensió** i **generació** de llenguatge humà.
- Un dels camps més actius i complexos de la IA.



# Aplicacions

- Traducció automàtica.
- Reconeixement de veu.
- Síntesi de veu.
- Generació i resum de text.
- Anàlisi de sentiments.
- Classificació de text.

# Introducció (I)

- Camp multidisciplinari que combina:
  - Lingüística.
  - Intel·ligència artificial.
  - Ciències cognitives.
  - Informàtica.
  - etc.

# Introducció (II)

- És un problema **difícil** perquè:
  - El llenguatge humà és **ambigu**.
  - El llenguatge humà és **ric**.
  - El llenguatge humà és **contextual**.
  - El llenguatge humà és **cultural**.
- Aquestes característiques fan que el llenguatge humà no sigui **formal** i, per tant, no es puga tractar amb les tècniques de la IA tradicional.

# El text com a dada

# Introducció

- El text és una font de dades **molt important**.
- Els humans **generem i consumim** text de forma **massiva**
- El saber com tractar el text és **crític** per a moltes aplicacions.

Anomenem text a una seqüència coherent de símbols que pot ser interpretada com a un conjunt de paraules, utilitzant les regles gramaticals i sintàctiques d'una llengua.

# Significant

- Què entenem per **significat**?:
    - el significat d'una paraula és el concepte que representa.
    - el significat d'una frase és el concepte que representa la combinació de les paraules que la formen.
    - el significat d'un text és el concepte que representa la combinació de les frases que el formen.

# Significat en els ordinadors

- Com poden coneixer els ordinadors el significat de les paraules, frases i textos?.
- Técniques classiques: bases de dades de sinònims i hyperònims.
  - WordNet: base de dades lèxica que relaciona paraules entre si.
  - Els sinònims permeten relacionar paraules amb el mateix significat.
    - Ex: roïn és un sinònim de dolent, malparit, miserable, etc.
  - Els hyperònims permeten relacionar paraules amb significats més generals.
    - Exemple: carnivor, vertebrat serien hyperònims de gat.

# Problemes de WordNet i semblants

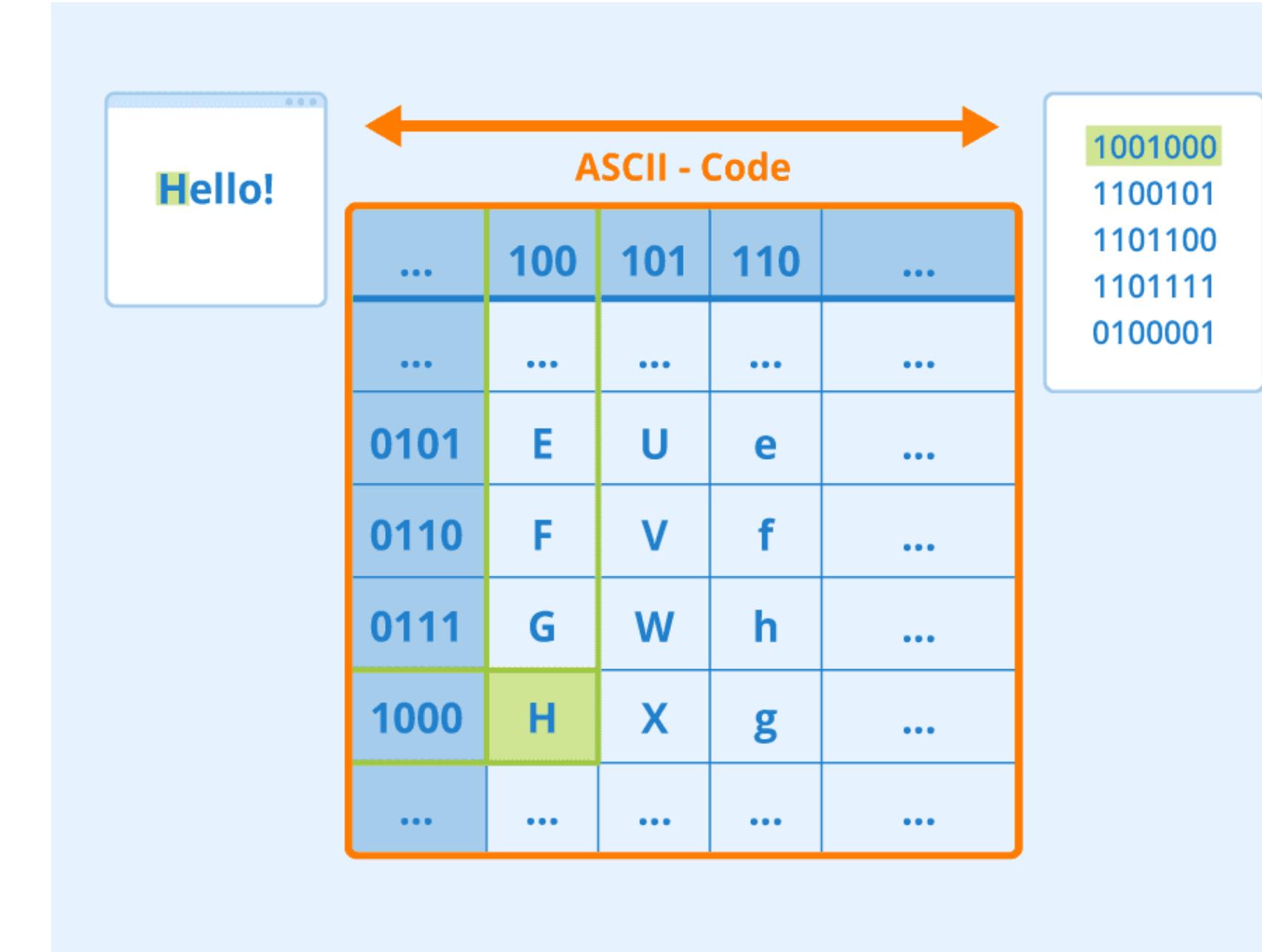
- Molt útil però sense matís semàntic.
  - Ex: gat i felí són sinònims, però no tenen el mateix significat.
- Tots els sinònims no seran útils en tots els contextos.
  - Ex: cabró és un sinònim de roïn, però no sempre es poden intercanviar.
- Actualitzar la base de dades és un procés **manual, costós** i subjectiu.
  - Ex: the shit és un sinònim de the best en anglès que no apareix en WordNet.
- Les solucions modernes es basen en les representacions del text.

# Representacions del text (I)

- Els ordinadors necessiten representar el text com a dades numèriques.
- Necessitarem un **vocabulari** que relacioni les unitats de text amb els números.
- Quina unitat de text triem per a representar el text i com ho fem?.
- Aquestes decisions determinaran la **complexitat** del model, el tamany del **vocabulari** i la **precisió** del model.
- Els models de representació del text són **molt importants** en el processament del llenguatge natural.
- A continuació veurem algunes de les tècniques més utilitzades.

# Representació de caràcters

- Cada caràcter es representa per un número.
  - El diccionari serà molt petit (en el cas de l'ASCII, 128 caràcters).
  - El model ha de ser molt complex, ja que ha d'aprendre a combinar els caràcters per a formar paraules.
  - Exemple: "AND" es pot representar com a [65, 78, 68]



# Representació de paraules

- Cada paraula és representada per un número.
  - El diccionari serà molt gran, ja que cada paraula serà una entrada en el diccionari.
  - El model serà més senzill, ja que les paraules són unitats semàntiques.
  - Exemple: Si el nostre vocabulari és ["gat", "gos", "cavall", "ocell", "peix"], llavors "gat" es pot representar com a 1 i "cavall" com a 3.

# Representació de subparaules

- Cada subparaula és representada per un número.
  - El diccionari serà més petit que el de paraules, ja que les subparaules són unitats semàntiques.
  - El model serà més senzill, ja que les subparaules són unitats semàntiques.
  - Permet representar paraules rares i que no estan en el vocabulari.
  - Útil per a llengües amb moltes paraules compostes i derivades.

# Tokens i tokenització (I)

- Independentment de l'enfocament triat, el text ha de ser **dividit** en **tokens**.
  - Ex: "New York in winter" → [ "New", "York", "in", "winter" ]
- **Token**: unitat mínima de text que pot ser considerada com a una unitat semàntica.
  - Pot ser una paraula, una subparaula, un signe de puntuació, un número, etc; qualsevol unitat que es triï per a ser tractada com a unitat mínima.
- **Tokenització**: procés de dividir un text en tokens i que facilita el tractament i comprensió del text.
  - És un procés **no trivial**. Depèn de la llengua i del domini.
  - Exemple: "New York" és un token o dos?

# Tokens i tokenització (II)

- Qüestions a tindre en compte:
  - **Puntuació**: es considera un token o no?. Pot variar la interpretació del text.
  - **Majuscules/Minúscules**: es consideren tokens diferents o no?.
  - **Stopwords**: paraules que no aporten informació al text (articles, preposicions, etc.).
  - **Idioma i domini**: el procés de tokenització depèn de l'idioma i del domini del text.

# Tokens i tokenització (III)

- N-grams: seqüències de n tokens consecutius.
- Algunes paraules tenen significat propi, però la seva combinació amb altres paraules també té un significat. Ex: "New York".
- Els n-grams permeten representar aquestes combinacions de paraules, augmentant el vocabulari amb les combinacions d'n-tokens que triem.
- Bigrams: seqüències de dos tokens consecutius, trigrams: seqüències de tres tokens consecutius, etc.
- Problema: augmenta molt el vocabulari i la complexitat del model.

# Vectorització (I)

- Encara que els tokens son molt útils, presenten alguns problemes:
  - No són fàcils de manipular per a les màquines.
  - No són fàcils de comparar.
  - No permeten calcular la similitud entre paraules i textos.
- La **vectorització** és el procés de convertir un text en un vector numèric.
- Els vectors són més fàcils de manipular per a les màquines i de comparar.

# Vectorització (II)

- Algunes tècniques de vectorització (embeddings):
  - **NNLM**: model basat en xarxes neuronals. El nombre de dimensions és fixe.
  - **Word2Vec**: cada paraula és un vector en un espai semàntic. El nombre de dimensions és fixe.
  - **FastText**: creat per Facebook. Similar a Word2Vec, però permet representar paraules rares i que no estan en el vocabulari.
  - **GloVe**: model basat en NNLM i Word2Vec.

# Word2Vec

- Es basa en la idea que les paraules amb significats similars apareixen en contextos similars.
  - "You shall know a word by the company it keeps" (J.R. Firth, 1957).
- Quan una paraula **p** apareix en un text, les paraules properes a p són el seu **context**.
- Els diferents contextos de p defineixen el significat de p.

...government debt problems turning into **banking** crises as happened in 2009...

...saying that Europe needs unified **banking** regulation to replace the hodgepodge...

...India has just given its **banking** system a shot in the arm...



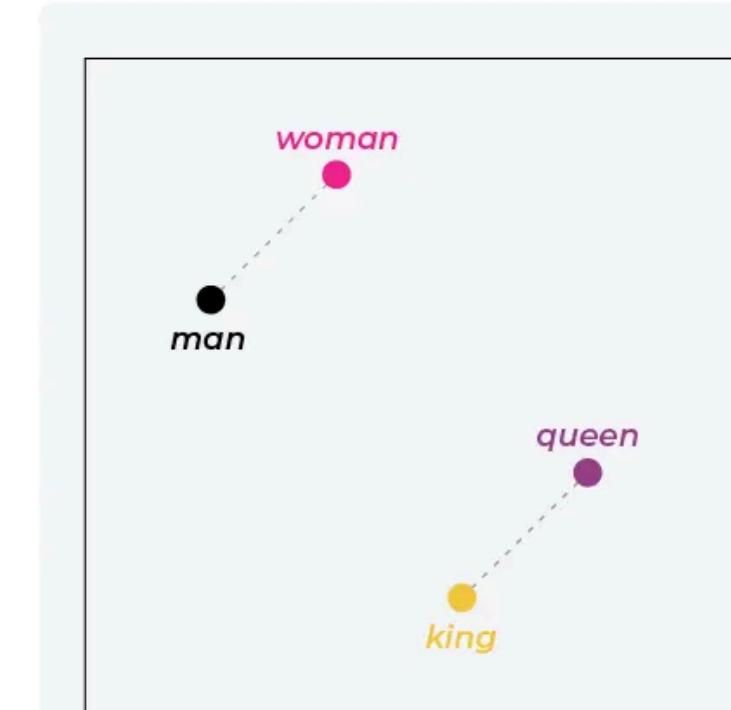
These **context words** will represent **banking**

# Word2Vec (II)

- Per cada paraula obtenim un vector **dens** i de **longitud fixa**.
- Cada dimensió del vector representa un **aspecte semàtic** de la paraula.
- Representen la seva **posició** en un espai semàtic n-dimensional.
- Els vectors de paraules amb contextos semblants estarán propers en l'espai semàtic.

Facilita calcular la similitud entre paraules.

	living being	feline	human	gender	royalty	verb	plural
man →	0.6	-0.2	0.8	0.9	-0.1	-0.9	-0.7
woman →	0.7	0.3	0.8	-0.7	0.1	-0.5	-0.4
king →	0.5	-0.4	0.7	0.8	0.9	-0.7	-0.6
queen →	0.8	-0.1	0.8	-0.9	0.8	-0.5	-0.9
word							



# Word2Vec (III)

- Els vectors de paraules també s'anomenen **embeddings** o **representacions de xarxa**.
- **FastText** és una variant de **Word2Vec** que utilitza subparaules.
  - Permet representar paraules rares i que no estan en el vocabulari.
  - Útil per a llengües amb moltes paraules compostes i derivades.
- Els embeddings generats poden ser utilitzats en una gran varietat de tasques, com pot ser la classificació de textos, anàlisi de sentiments, etc.
- Són models que necessiten un entrenament previ amb totes les paraules del vocabulari. A continuació veurem un exemple.

# Representació de textos

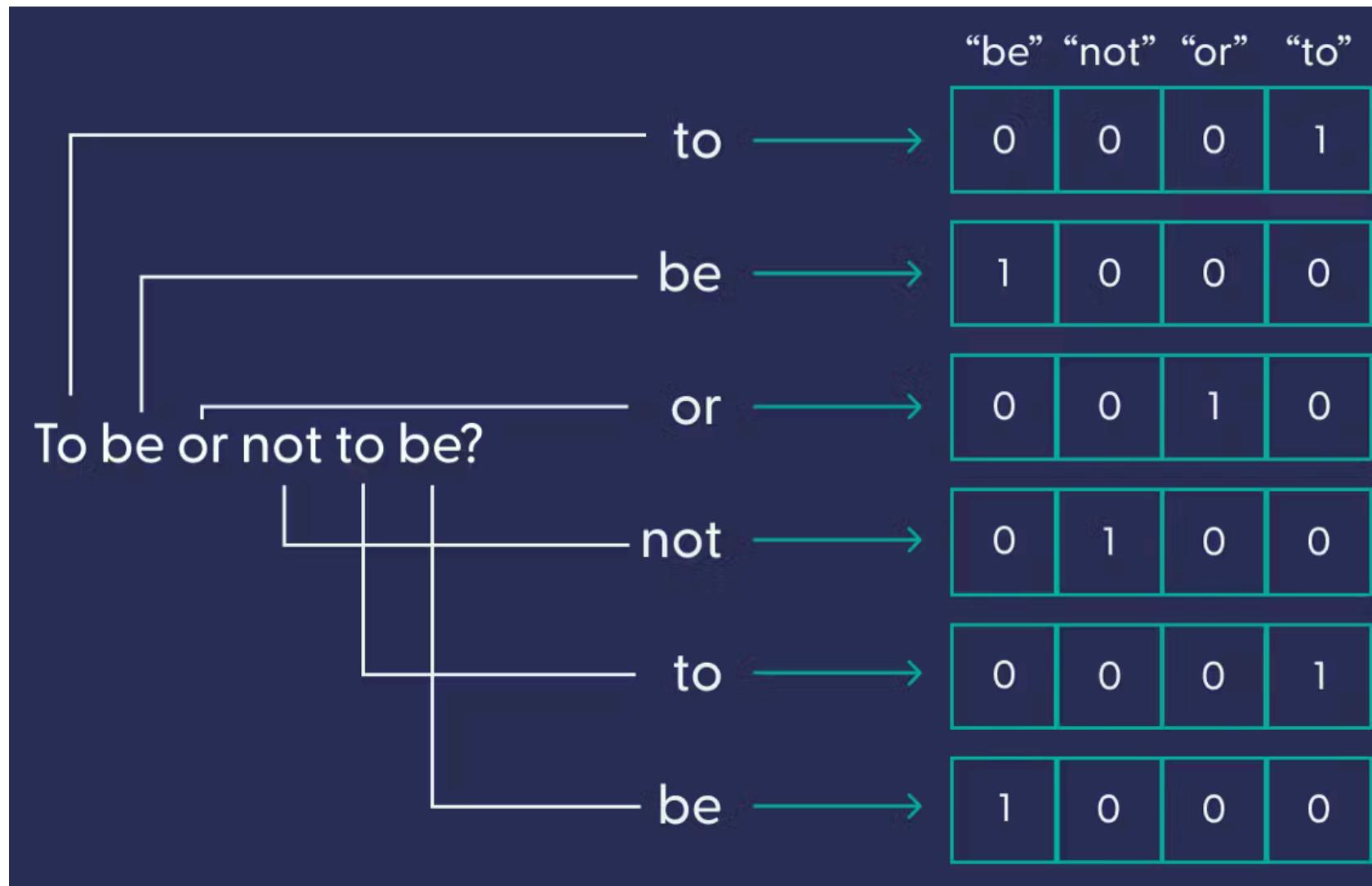


# Representació de textos

- Fins ara hem vist com representar paraules.
- Solament així podrem veure les relacions entre les paraules que el formen.
- Algunes de les tècniques utilitzades són:
  - **One-hot encoding**: cada token → una dimensió; valor → 1 si el token està i 0 si no.
  - **Bag of Words**: model basat en freqüències. El valor de cada cel·la son les aparicions del token en el document. Simple i encara molt utilitzat.
  - **TF-IDF**: model basat en freqüències i inversa de freqüències
  - **Word Embeddings**. Vectorització de paraules amb *Word2Vec*, *FastText*, etc

# One-hot encoding

- El model **one-hot encoding** és un model basat en tokens.
- Els vectors generats són **dispersos** i **grans**, ja que cada token és una dimensió.
- Cada token és una dimensió i el valor de cada cel·la és 1 si el token està i 0 si no.
- Els vectors generats són **independents** de la semàntica.
- No facilita calcular la similitud entre paraules i textos.



## Raw Text

## Bag of Words (BoW)

- El model **BoW** és un model basat en freqüències.
- Es pot entendre com una suma dels vectors one-hot.
- Els vectors generats són **independents** de la semàntica.
- El nombre del token es pot entendre com a **ordre** i en molts casos no és així. Aquesta discrepància pot afectar a la qualitat del model.

it is a puppy and it  
is extremely cute

it is a puppy and it  
is extremely cute



Bag-of-words vector	
it	2
they	0
puppy	1
and	1
cat	0
aardvark	0
cute	1
extremely	1
...	...

# TF-IDF

- El model **TF-IDF** és un model basat en freqüències i inversa de freqüències.
- Semblant al model **BoW**, però té en compte la freqüència del token en el document i en el conjunt de documents.
- El valor de cada cel·la és el producte de la freqüència del token en el document i la inversa de la freqüència del token en el conjunt de documents.
- Dona més importància als tokens que apareixen en pocs documents. Raó: els tokens que apareixen en molts documents no solen aportar informació rellevant.

# Word Embeddings

- Els *embeddings* generats per Word2Vec són vectors de  $n$  dimensions.
- Els vectors generats són **denses**, de **longitud fixa** i amb **sentit semàtic**.
- Per a representar un **text** pot utilitzar-se la mitjana dels *embeddings* de les paraules que el formen, el màxim, la suma, etc.

## Generació de *embeddings* amb Word2Vec i la llibreria Gensim

```
from gensim.models import Word2Vec  
  
sentences = [  
    ["Gavi", "company", "Pedri"],  
    ["Xavi", "entrena", "Barça"],  
    ["Gavi", "juga", "Barça"],  
    ["Gavi", "chuta"],  
    ["Kepa", "para"],  
    ["Xavi", "entrena"],  
]  
model = Word2Vec(sentences, min_count=1)
```

## Visualització dels *embeddings*

```
gavi = model.wv["Gavi"]
print(gavi)

[
    -0.00536227  0.00236431  0.0510335   0.09009273
    -0.0930295   -0.07116809  0.06458873   0.08972988
    -0.05015428  -0.03763372
]
```

## Busquem paraules similars

```
model.wv.most_similar("Gavi")  
[( 'Barça' , 0.5436005592346191 ) ,  
  ( 'Pedri' , 0.3792896568775177 ) ,  
  ( 'entrena' , 0.3004249036312103 ) ,  
  ( 'Xavi' , 0.10494352877140045 ) ,  
  ( 'juga' , -0.1311161071062088 ) ,  
  ( 'chuta' , -0.1897382140159607 ) ,  
  ( 'para' , -0.22418655455112457 ) ,  
  ( 'Kepa' , -0.2726020812988281 ) ,  
  ( 'company' , -0.7287455797195435 ) ]
```

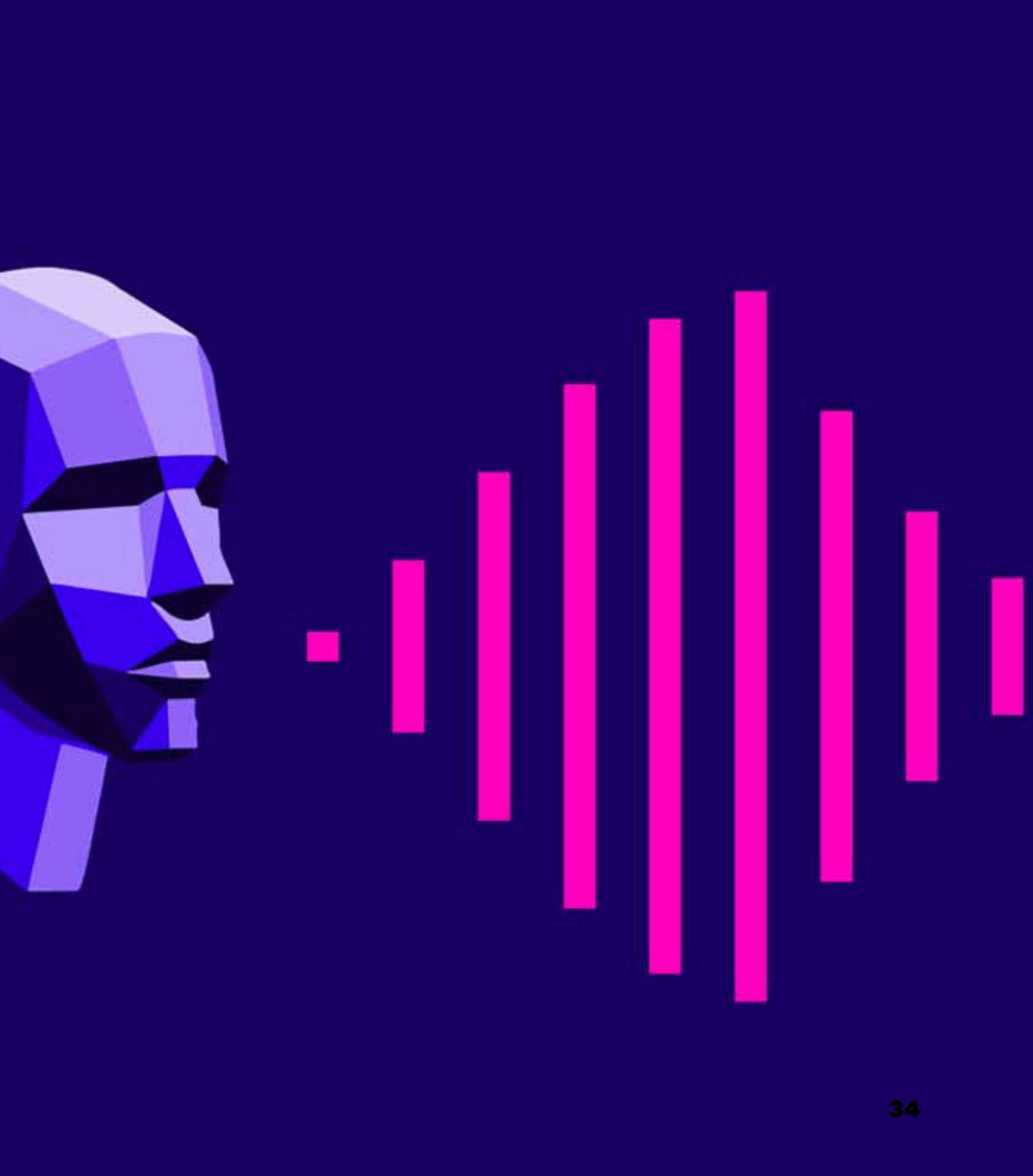
# **Conversió de text a veu i veu a text**

# Reconeixement de veu i transcripció automàtica

- La **síntesi de veu** i la **transcripció automàtica** són tasques de **processament del llenguatge natural**.
  - La síntesi de veu és el procés de **convertir un arxiu de text en un arxiu d'àudio**.
  - La transcripció automàtica és el procés de **convertir un arxiu d'àudio en un arxiu de text**.
- Ambdues són unes tècniques molt importants en el processament del llenguatge natural; encara que no soLEN estar en primer pla.
- En aquest apartat veurem com funcionen aquestes tècniques.

# Síntesi de veu

- La **síntesi de veu** és el procés de **convertir un arxiu de text en un arxiu d'àudio**.
- Aquesta tecnologia ha millorat molt en els últims anys, gràcies als models de llenguatge i a les xarxes neuronals.
- Hi ha diversos enfocaments, a continuació veurem els més importants.



# Síntesi de veu: concatenació de sons

- Es basa en la grabació de **sons** i la seva **concatenació** per a formar paraules i frases.
- Es busquen els sons més adaptats al context i es combinen de manera que soni el més natural possible.
- Requereix una gran quantitat de dades i dificulta adaptar-se a contextos nous.

# Síntesi de veu: síntesi basada en formants

- Els **formants** són les **frequencies** de les cordes vocàliques.
- S'ajusten els formants per representar els diferents sons i es combinen per a formar paraules i frases.
- La síntesi de formants permet obtindre veus clares i precises.
- Requereixen menys dades que la síntesi per concatenació de sons, tenen, però menys naturalitat i expressivitat.

# Síntesi de veu: síntesi basada en unitats

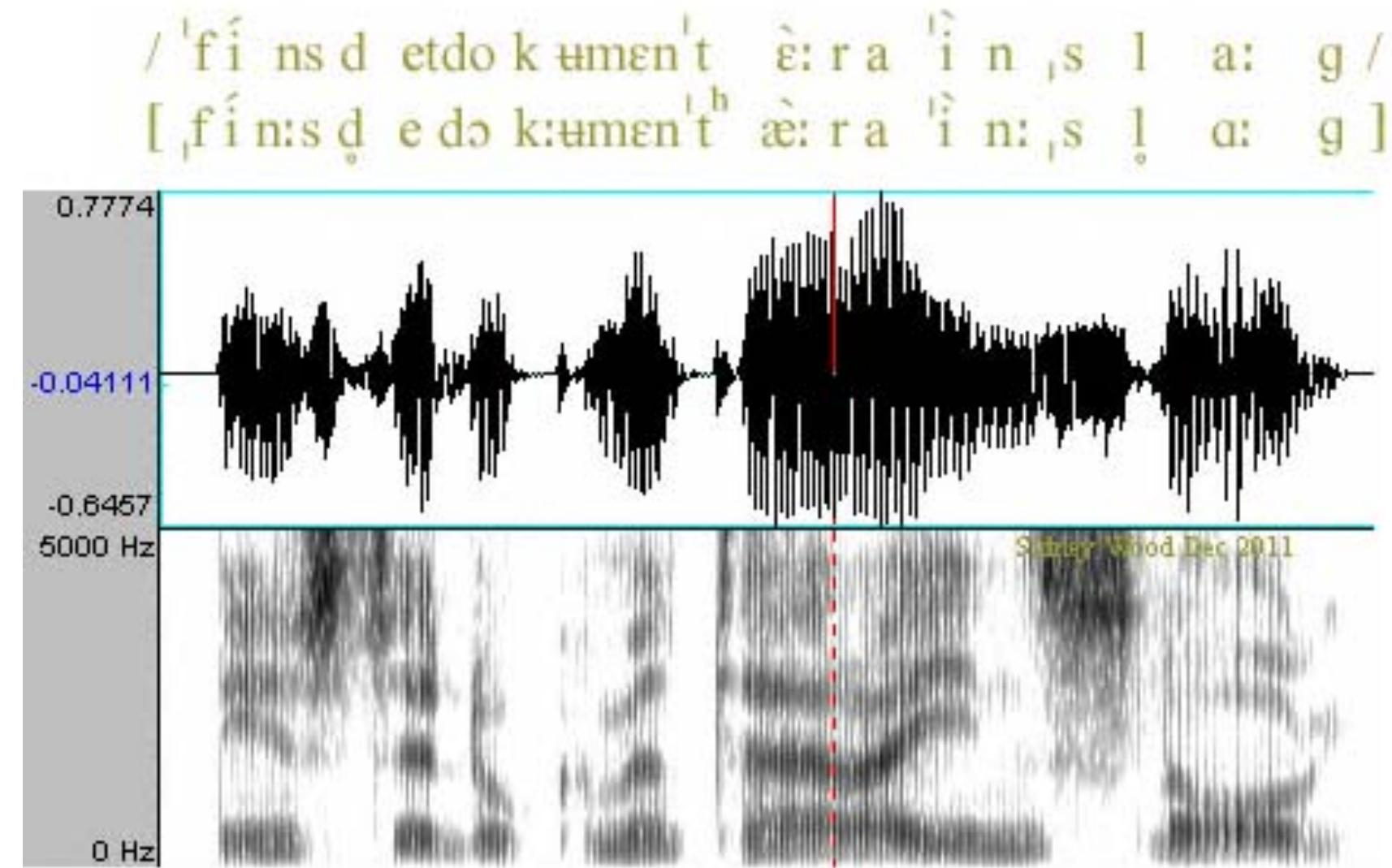
- Es basa en la **síntesi d'unitats** més petites que les paraules, com ara **fonemes** o **diftongs**.
  - Aquestes unitats s'enmagatzemen en una base de dades i es combinen de forma dinàmica segons el text.
  - La síntesi de unitats permet obtenir veus més naturals i expressives.
  - Requereixen menys dades que la síntesi per concatenació de sons.

# Síntesi de veu: síntesi basada en xarxes neuronals (I)

- Les xarxes neuronals són capaces de sintetitzar veus a partir de text.
- Aquestes xarxes s'entrenen amb grans quantitats de dades de veu i text i són capaces de sintetitzar veus molt naturals.
- S'utilitzen Xarxes Neural Recurrents (RNN) específiques, com ara les xarxes LSTM o GRU o models més moderns com ara les xarxes Transformer.
- Aquestes xarxes són capaces de sintetitzar veus molt naturals i expressives, sempre que tinguin suficients dades d'entrenament i suficient capacitat de procés.

## Síntesi de veu: síntesi basada en xarxes neuronals (II)

- Aquests models es basen en els espectrogrames de les veus (representació de la veu en funció del temps i la freqüència).
- Funcionen en quatre etapes:
  - **Etapa de seqüència a seqüència:** el text es converteix en una seqüència de vectors.
  - **Etapa de seqüència a espectrograma:** els vectors es converteixen en espectrogrames.
  - **Etapa de síntesi:** els espectrogrames es converteixen en veu.
  - **Etapa de postprocessament:** es millora la qualitat de la veu.



# Transcripció automàtica

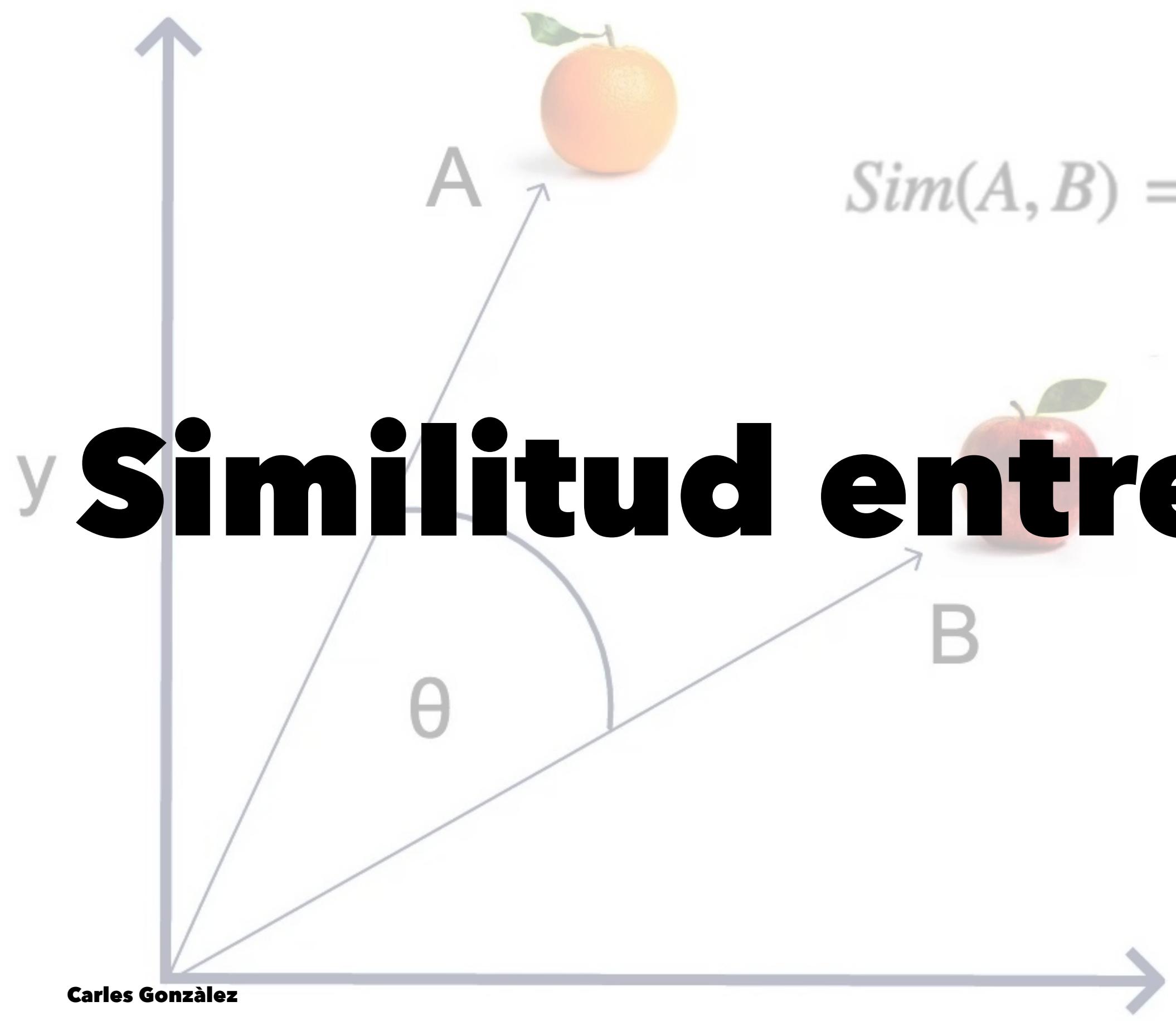
- En l'actualitat el **reconeixement de veu** és una tasca **molt madura**.
- Els assistents虚拟 com **Siri, Alexa o Google Assistant** són capaços de reconèixer veu amb una gran precisió.
- Si volem implementar un sistema de reconeixement de veu, podem utilitzar eines com **Google Cloud Speech-to-Text** o **IBM Watson Speech to Text**.
- Aquestes eines es basen en les matèries tècniques que hem vist per a la síntesi de veu.

# Models de reconeixement de veu i transcripció automàtica

- Els models de reconeixement de veu i transcripció automàtica són models de **seqüència a seqüència**.
- Aquests models són capaços de convertir una seqüència d'entrada en una seqüència de sortida.
- Alguns dels models més importants són:
  - **Whisper**: model de reconeixement de veu de **OpenAI**.
  - **DeepSpeech**: model de reconeixement de veu de **Mozilla**.
  - **Hugging Face Speech2Text**: model de reconeixement de veu de **Hugging Face**.
  - **Bark**: Model de generació de veu de **Suno Labs**.

## Similitud del cosinus

- Els *embeddings* generats per Word2Vec són vectors de  $n$  dimensions.
- Per a calcular la similitud entre dos vectors s'utilitza la **similitud del cosinus**.
- El resultat és un valor entre -1 i 1.
  - -1: vectors oposats.
  - 0: vectors ortogonals.
  - 1: vectors iguals.
- Aquesta mesura és molt utilitzada en el processament del llenguatge natural.



$$Sim(A, B) = \cos(\theta) = \frac{A \cdot B}{\|A\| \|B\|}$$

# Similitud entre textos

# Similitud entre textos

- La similitud entre textos és una mesura que indica com de semblants són dos textos.
- És una de les funcions més obvies del processament del llenguatge natural.
- El càlcul de la similitud entre textos, però, és una tasca **difícil**.
- Anem a veure algunes tècniques de les més utilitzades.

# Técniques per a calcular la similitud entre textos (I)

- **Basades en regles**: Es basen en regles predefinides; fàcils d'implementar i útils per a casos senzills.
  - **Distància de Levenshtein**: És el nombre mínim d'operacions per a transformar una cadena en una altra.
  - **Distància de Hamming**: És el nombre de posicions en les quals dues cadenes de la mateixa longitud difereixen.
  - **Recompte de paraules**: És el nombre comú de paraules entre dos textos.
  - **Distància de Jaccard**: És el nombre de paraules comunes entre dos textos dividit pel nombre total de paraules dels dos textos.

# Técniques per a calcular la similitud entre textos (II)

- **Basades en característiques sintàctiques**: Es basen en les característiques sintàctiques i gramaticals dels textos. Impliquen un procés de **parsejat** dels textos per analitzar la seva estructura sintàctica.
- **Basades en característiques semàntiques**: Es basen en les característiques semàntiques dels textos. Aquí models com Word2Vec són molt útils, al permetre representar el significat contextual de les paraules.
  - **Word Mover's Distance**: Mesura la distància entre dos textos com la distància entre els vectors de les paraules dels dos textos.
  - **Similitud del cosinus**: Utilitza el cosinus de l'angle entre ells.

# Técniques per a calcular la similitud entre textos (II)

- **Basades en l'aprenentatge automàtic**: Es basen en l'aprenentatge automàtic per a calcular la similitud entre textos.
- **BERT i GPT**: Models de llenguatge basats en xarxes neuronals que pot ser utilitzat per a calcular la similitud entre textos.
- **Universal Sentence Encoder**: Model específicament entrenat per al *transfer learning* (aprenentatge per a la transferència; utilitzar un model entrenat per a una tasca per a una altra).

# Utilitats de la similitud entre textos

- **Correcció ortogràfica:** Per a corregir una paraula es busca la paraula més semblant.
- **Classificació de textos:** Per a classificar un text es busca el text més semblant.
- **Agrupació de textos:** Útil per a agrupar textos similars en clusters.
- **Búsqueda de resposta:** Per a trobar la resposta a una pregunta es busquen texts semblants a la pregunta.

# Word Embeddings

- Les tècniques clàssiques d'NLP es basen en representacions no semàntiques com BoW o TF-IDF.
- Les modernes es basen en LLMs (Language Models) i Word Embeddings.
- Com ja hem vist, els *embeddings* generats per Word2Vec són vectors de  $n$  dimensions.
- Per a representar un text pot utilitzar-se la mitjana dels *embeddings* de les paraules que el formen.
- Els vectors generats són **denses**, de **longitud fixa** i amb **sentit semàtic**.
- Facilita calcular la similitud entre paraules i textos.

# LLMs (Language Models)

- Els **LLMs** són models complexos basats en xarxes neuronals recurrents i l'arquitectura **Transformer**.
- Poden aprendre la semàntica del text i generar els seus propis *embeddings* utilitzant el mecanisme d'**atenció**.
- Demostren un gran rendiment en moltes tasques, com pot ser el càcul de la similitud entre textos.
- Són complexos i necessiten un entrenament previ amb un gran volum de dades.

# Classificació de textos i anàlisi de sentiments

# Anàlisi de sentiments

- L'anàlisi de sentiments és un tipus de classificació i una de les tasques més utilitzades en el processament del llenguatge natural.
- L'objectiu és determinar l'actitud d'un autor respecte a un tema o producte.
- Es basa en la **polaritat** del text, que pot ser **positiva, negativa o neutra**.
- També poden buscar-se emocions concretes, com pot ser **alegria, tristesa, ira**, etc.

# Anàlisi subjectiva i objectiva

- L'anàlisi de sentiments pot ser **subjectiva** o **objectiva**.
- L'anàlisi subjectiva busca les **emocions i sentiments** de l'autor.
- L'anàlisi objectiva es basa en **fets i dades concretes**.
- Els dos tipus d'anàlisi són **complementaris** i poden utilitzar-se conjuntament.
- Ex: "*La pel·lícula té grans moments, però el final és molt trist*".
  - Anàlisi subjectiva: "*La pel·lícula és bona*".
  - Anàlisi objectiva: "*El final és trist*".

# Preprocessament del text

- El **tractament** de textos facilita obtenir bons resultats en NLP.
- Permet reduïr la **dimensionalitat** dels textos, eliminar el soroll i capturar la semàntica.
- Algunes de les tècniques més utilitzades són:
  - **Tokenització**: vist anteriorment.
  - **Normalització**: convertir el text a un format estàndard.
  - **Eliminació de stopwords**: eliminar paraules que no aporten informació.
  - **Stemming i lematització**: convertir les paraules a la seva forma base.
  - **Gestió de negacions i modalitats**: convertir a un format estàndard.

# Preprocessament: tokenització

- Com ja hem vist, la tokenització és el procés de dividir un text en tokens.
- Els tokens poden ser paraules, subparaules, signes de puntuació, etc.
- Facilita una anàlisi més profund del text i extreure característiques rellevants.
- Ex: "El Barça està en crisi" → ["El", "Barça", "està", "en", "crisi"].

# Preprocessament: normalització

- La **normalització** implica el·liminar els elements que no aporten informació.
  - Nombres, signes de puntuació, etc.
- També implica convertir el text a un format estàndard, passant a minúscules i llevant espais innecessaris, per exemple.
  - Ex: "El Barça està en crisi! 😠" → "el Barça està en crisi".
- La normalització facilita la comparació entre textos i la detecció de paraules clau.

# Preprocessament: eliminació d'**stopwords**

- Les **stopwords** són paraules que no aporten informació al text.
- Són paraules molt comunes en un idioma, com pot ser articles, preposicions, etc.
- Els textos després de processar-se amb stopwords són més fàcils de tractar i més ràpids de processar.
- Ex: "El Barça està en crisi" → ["Barça", "crisi"] .

# Preprocessament: stemming i lematització

- El **stemming** i la **lematització** són tècniques per a convertir les paraules a la seva forma base i facilitar l'agrupació de paraules relacionades.
- L'**stemming** és un procés heurístic basat en regles, mentre que la **lematització** és un procés basat en coneixements lingüístics.
  - Ex d'steming: "jugar", "jugaré", "jugarà" → "jug".
  - Ex de lematització: "jugar", "jugaré", "jugarà" → "jugar".
- El stemming és més ràpid, però la lematització és més precisa.

# Preprocessament: negacions i modalitats

- Les **negacions i modalitats** poden canviar el significat d'una frase.
- Ex: "*El Barça no està en crisi*", "*El Barça pot estar en crisi*", "*Deuries anar a l'estadi*".
- Els models de NLP no poden interpretar aquestes frases sense un tractament previ.
- Necessitem tècniques específiques, com la detecció de **dobles negacions** i la **reassignació de polaritat**.

# Enfocaments per a l'anàlisi de sentiments

- Com en totes les tasques de NLP, l'anàlisi de sentiments pot ser abordada amb diferents enfocaments.
- Els enfocaments més utilitzats són:
  - Basats en **regles**
  - Basats en l'**aprenentatge automàtic supervisat**
  - Basats en l'**aprenentatge automàtic no supervisat**

# Enfocament basat en regles

- Els enfocaments basats en regles són els més senzills i ràpids.
- També s'anomenen **lexicon-based**.
- Es basen llistes de paraules per a determinar la polaritat del text.
- De cada paraula es busca la seva polaritat en el llistat i es fa una suma..
  - "*El Barça està en crisi*". "crisi" → -1 - → **negatiu**.
  - "*Me fa il·lusió anar a l'estadi*". "il·lusió" → 1 → **positiu**.
  - "*El partit va acabar en empata*". "empat" → 0 → **neutre**.

# **Enfocament basat en l'AA supervisat**

- Els enfocaments basats en l'aprenentatge automàtic supervisat són alguns dels més utilitzats.
- Consisteixen en entrenar un model amb un conjunt de dades etiquetades amb la polaritat del text.
- El model identifica els patrons en el text que determinen la polaritat.
- Alguns dels models més utilitzats són: **Naive Bayes, Support Vector Machines, Random Forest, Xarxes neuronals**

# Enfocament basat en l'AA no supervisat

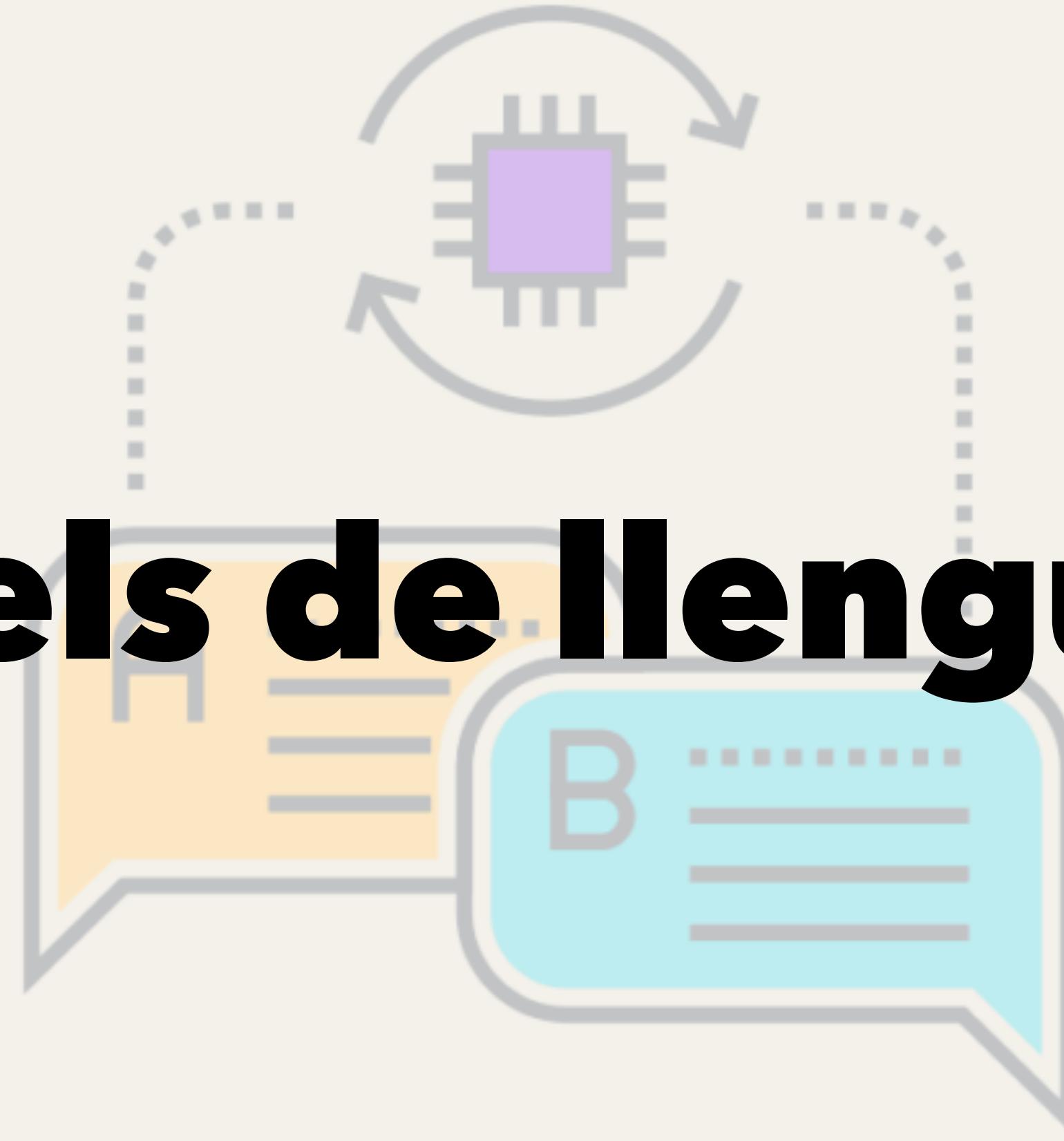
- Els enfocaments basats en l'aprenentatge es basen en identificar patrons en el text sense necessitar etiquetes predefinides.
- Es poden utilitzar tècniques com la **clusterització** per a agrupar els textos en clusters segons la seva polaritat.
- Una vegada agrupats els textos, es poden etiquetar manualment els clusters.
- Aquestes tècniques són útils per a detectar patrons en el text i per a agrupar textos semblants (segons la distància entre textos).

# Models per a l'anàlisi de sentiments

Alguns dels models més utilitzats per a l'anàlisi de sentiments són:

- **BOW** + clasificador: model basat en BoW i un classificador.
- **Embeddings** + clasificador: Word2Vec, FastText, etc.
- **VADER**: model basat en regles, molt utilitzat en anglès.
- **Transformers**: com ja hem vist, els transformers són models específics per a NLP molt potents. Un dels models més utilitzats és **BERT**, de quäl utilitzarem una implementació en la segona pràctica.

# Models de llenguatge



# Models de llenguatge

- Fins ara hem vist com representar el text i com acomplir tasques com l'anàlisi de sentiments.
- Hem comentat que els models de llenguatge són eines molt potentes que poden ser utilitzades en moltes tasques.
- En aquesta secció veurem què són els models de llenguatge i com funcionen.
- També veurem alguns dels més utilitzats i les seves aplicacions.

# Aplicacions dels models de llenguatge

- Els models de llenguatge són un dels camps més actius i complexos de la IA.
- Són la base de moltes aplicacions de NLP, com pot ser:
  - **Traducció automàtica**: traduir un text d'un idioma a un altre.
  - **Reconeixement de veu**: transcriure un text a partir d'un arxiu d'àudio.
  - **Síntesi de veu**: generar un arxiu d'àudio a partir d'un text.
  - **Generació i resum de text**: generar textos a partir d'una seqüència de paraules.
  - **Anàlisi de sentiments**: determinar la polaritat d'un text.
  - **Classificació de text**: classificar un text en una categoria.
  - **Generació de textos**: generar textos a partir d'un tema o un estil.

# Definició

- Un **model de llenguatge** assigna una probabilitat a una seqüència de paraules.
  - Per tant, permet predir la següent paraula d'una seqüència.
  - Ex: "El barça està en \_\_" → [{crisi: 0.8}, {forma: 0.1}, {casa: 0.1}]
- Es basen en la idea que les paraules d'una seqüència no són independents, sinó que depenen de les paraules anteriors.
- Permeten calcular la "**validesa**" d'una seqüència de paraules.
  - No és el mateix que la **correcció** d'una seqüència de paraules.
  - Intentem modelar el llenguatge humà, amb els seus **matisos i ambigüitats**.

# Història: Models basats en regles

- Els models de llenguatge són un dels camps més antics del processament del llenguatge natural.
- Es basen en regles gramaticals i lingüístiques per definir les característiques del llenguatge.
- Les regles estan definides per experts i són difícils de modificar.
- No són flexibles i no poden adaptar-se a nous contextos.
- Ex: Gramàtica de Chomsky, Gramàtica de Montague, etc.

# Història: Models estocàstics

- Els models basats en regles van ser substituïts per models basats en **estadístiques**, més flexibles i que poden modelar millor el llenguatge humà.
- Es basen en la idea que les paraules d'una seqüència no són independents, sinó que depenen de les paraules anteriors. Exemples:
  - **N-gram**: modela cada paraula en funció de les n paraules anteriors. (uni, bi, tri, etc).
  - **Skip-gram**: modela cada paraula en funció de les n paraules anteriors i posteriors.
  - **Syntax-based**: es basen en l'estructura sintàctica de les frases i no en la seva seqüència.

# Història: RNN

- Els models basats en estadístiques van ser substituïts per models basats en **xarxes neuronals**.
- Els primers models d'aquest tipus van ser els **RNN** (xarxes neuronals recurrents).
  - A diferència de les xarxes neuronals tradicionals, les RNN tenen **memòria**.
  - L'entrada d'una neurona pot anar determinada per la sortida d'ella mateixa.
  - Permeten processar seqüències de longitud variable.
  - Els models de llenguatge basats en RNN van ser els primers en obtenir resultats acceptables.

# Història: LLM

- Els models basats en RNN van ser substituïts per models basats en **transformers**.
- Els transformers són models basats en xarxes neuronals que utilitzen el mecanisme d'**atenció**.
  - Són més potents que les RNN i permeten obtenir resultats molt millors.
  - Són els models més utilitzats en l'actualitat.
  - Necessiten un entrenament previ amb un **gran** volum de dades (*corpus*)
  - Mostren la capacitat d'entendre el context, la semàntica i la sintàxis del text.

# Història: LLM (II)

- El mecanisme d'atenció és un mecanisme que permet a les xarxes neuronals aprendre a **centrar-se** en les parts importants de les seves entrades.
- És un mecanisme que imita el comportament humà.
- Podem entendre'l com una **capa** que s'afegeix a una xarxa neuronal.
- Els transformers són models basats en xarxes neuronals que utilitzen una variant del mecanisme d'atenció anomenada **self-attention**.

# Entrenament de models de llenguatge

- Els models de llenguatge necessiten un entrenament previ amb un **gran** volum de dades.
- Aquestes dades s'anomenen **corpus**.
- Els corpus són **molt grans** i difícils de generar.
- Poden ser **generats manualment** o **automàticament**.
- Varen en contingut: notícies, llibres, xats, etc.
- Poden incloure **etiquetes** per a entrenar models supervisats.

# Parts d'un LLM

- Els models de llenguatge basats en transformers són models molt complexos.
- Tenen dues parts principals:
  - **Encoder**: codifica el text d'entrada en un vector.
  - **Decoder**: decodifica el vector en un text de sortida.
  - Segons quines parts estiguem presents o no podran ser **bidireccionals** o **unidireccionals**.
  - Això determinarà també les tasques que poden realitzar.

# Parts d'un LLM (II)

- Encoder: codifica el text d'entrada en un vector.
- Els models encoder-only són **unidireccionals** i s'especialitzen en "entendre" el text d'entrada i, per tant, són útils per a tasques com la classificació de text.
- Solament necessiten el **encoder** per a realitzar la tasca perquè no necessiten generar un text de sortida.
- Utilitats: classificació de text, anàlisi de sentiments, etc.
- Ex: **BERT**, RoBERTa, ALBERT, ELECTRA, etc.

# Parts d'un LLM (III)

- Decoder: decodifica el vector en un text de sortida.
- Els models Decoder–only solament poden accedir a les paraules anteriors i, per tant, són útils per a tasques com la generació de text.
- Utilitats: generació de text, escritura creativa, etc.
- Ex: **GPT**, GPT-2, GPT-3, Mixtral, etc.

# Parts d'un LLM (IV)

- Encoder + Decoder: codifica el text d'entrada en un vector i decodifica el vector en un text de sortida.
- Els models Encoder–Decoder poden accedir a les paraules anteriors i posteriors i, per tant, són útils per a tasques com la traducció automàtica.
- Utilitats: traducció automàtica, resum de text, esquematització de text, etc.
- Ex: **T5**, BART, etc.

# Utilització dels LLM

- Els transformers són models molt complexos i necessiten un entrenament previ amb un gran volum de dades.
- Normalment s'utilitzen models ja entrenats i que poden ser utilitzats per a diferents tasques.
- Per a millorar el rendiment dels models entrenats es pot utilitzar el **fine-tuning**.
  - El fine-tuning consisteix en entrenar el model amb un conjunt de dades específic per a la tasca que volem realitzar.
  - Per a això, s'utilitza un conjunt de dades més petit que el corpus original.
  - En les pràctiques utilitzarem un model ja entrenat i li farem fine-tuning per a millorar el rendiment en les tasques que vulgarem realitzar.

# Transformers

# Transformers

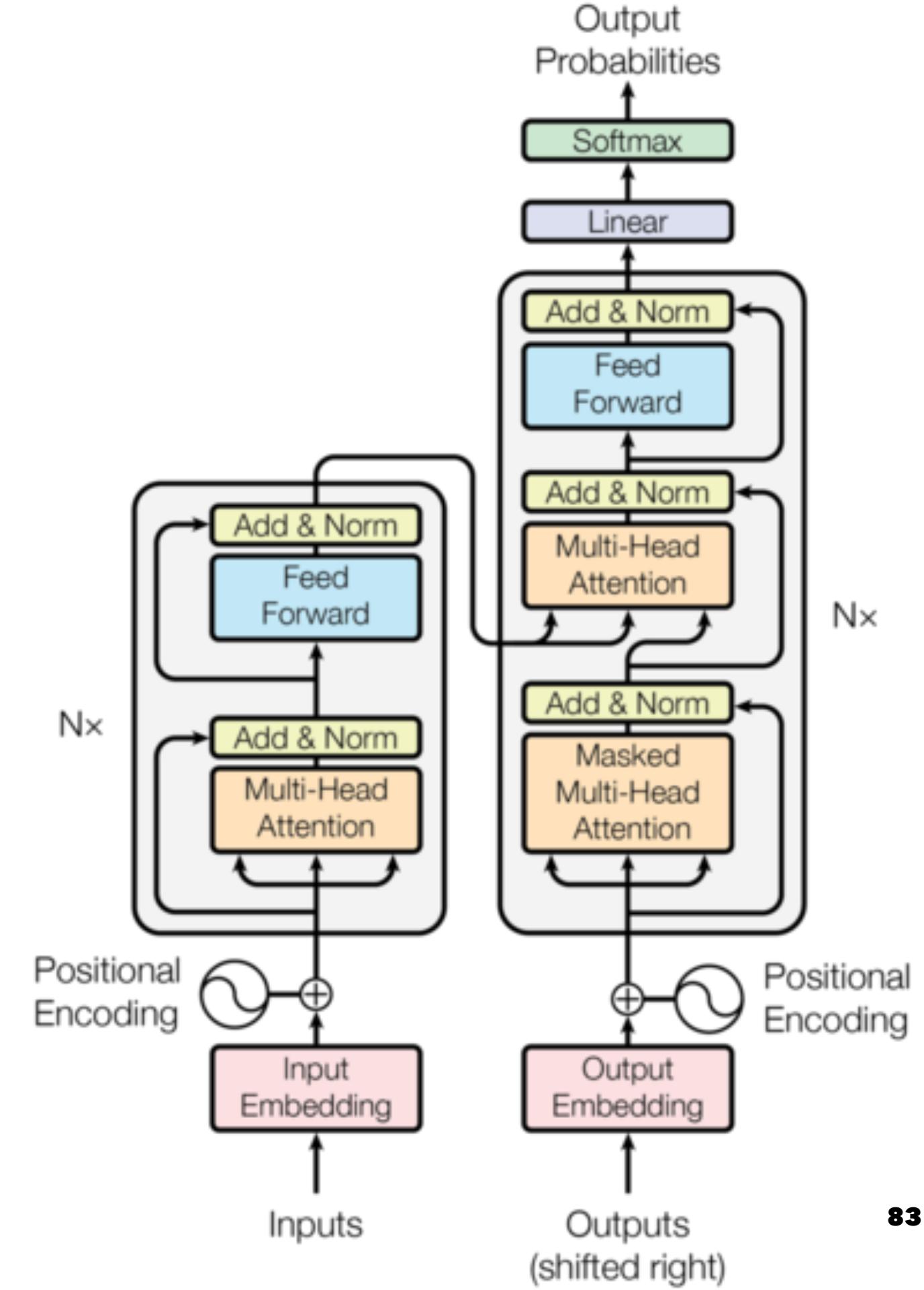
- Com ja hem comentat anteriorment, els **transformers** són models basats en xarxes neuronals que utilitzen el mecanisme d'**atenció**.
- Són els models més utilitzats en l'actualitat en el processament del llenguatge natural.
- La seva arquitectura innovadora permet obtenir resultats molt millors que els models anteriors i aprofitar el **parallelisme** i les **GPU**.
- Per la seva complexitat anem a veure'l's en més detall.

# Orige

- Els transformers van ser introduïts per **Vaswani et al.** en el 2017.
  - El paper original es titula "*Attention is All You Need*".
- Els transformers van ser dissenyats per a millorar el rendiment dels models de llenguatge.
- El seu primer ús va ser en la tasca de traducció automàtica.
- Va posar en primer pla el mecanisme d'atenció com a eina fonamental en el processament del llenguatge natural.

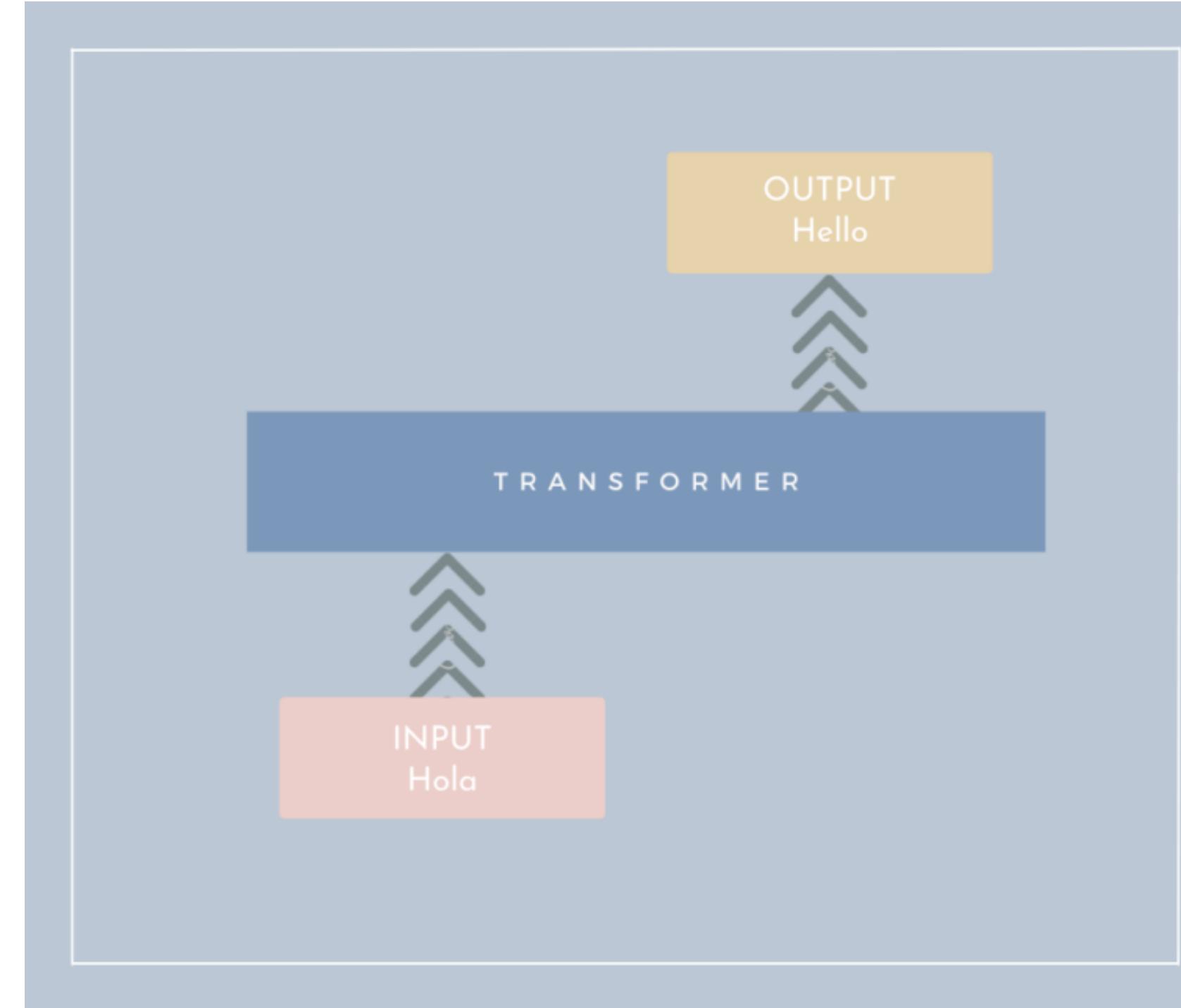
# Arquitectura dels transformers (I)

- Els transformers són models moderns i molt complexos.
- Per contra, si veiem les seves parts per separat, és més fàcil entendre'l's.
- Anem a veure punt per punt les seves parts principals i com funcionen.



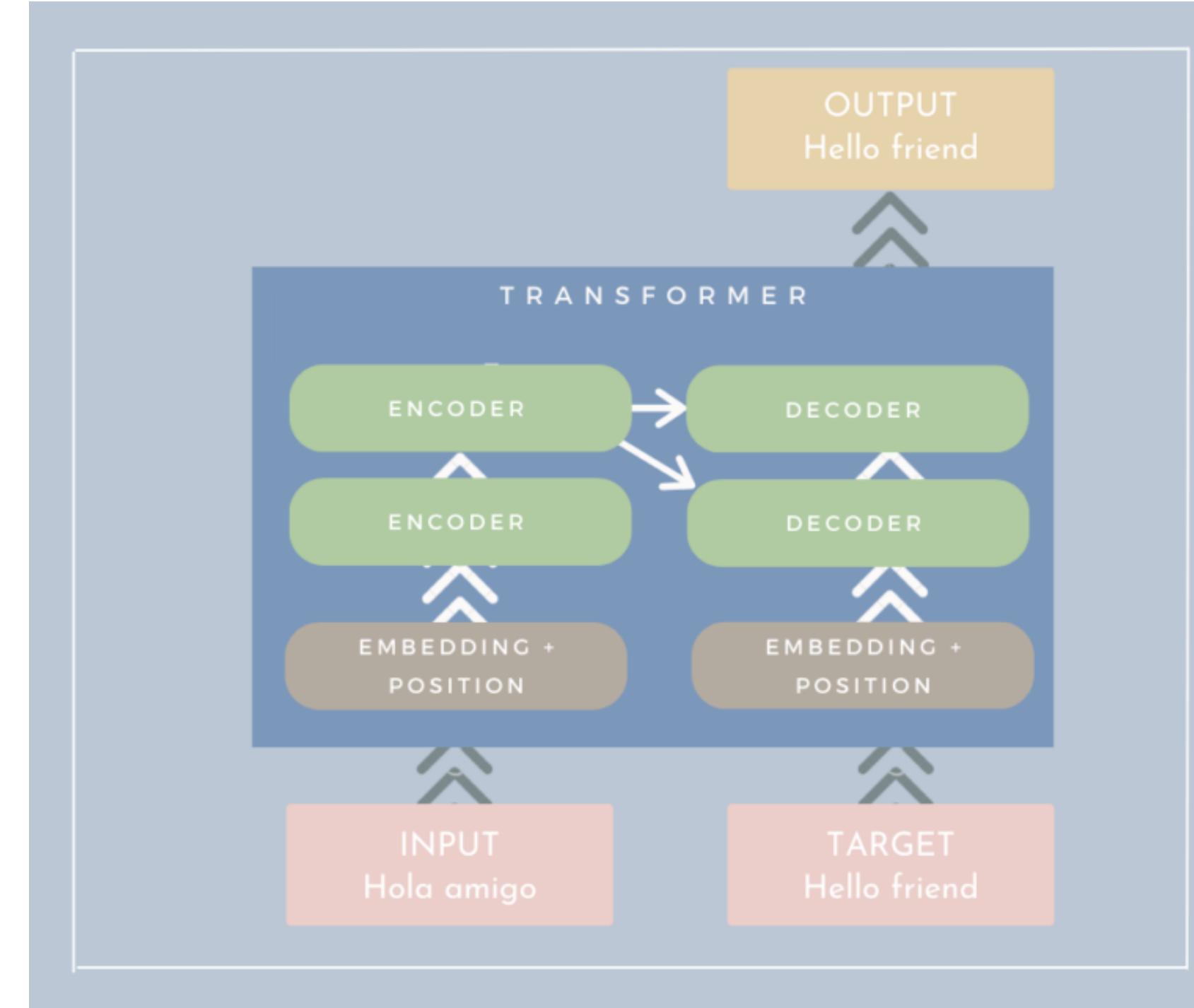
# Arquitectura dels transformers (II)

- En un nivell superficial, els transformers funcionen com una caixa negra.
- Reben com a entrada un text i generen com a sortida un text.
- La seva complexitat rau en la seva arquitectura interna.
- Els transformers tenen dos parts principals: **encoders** i **decoders**.



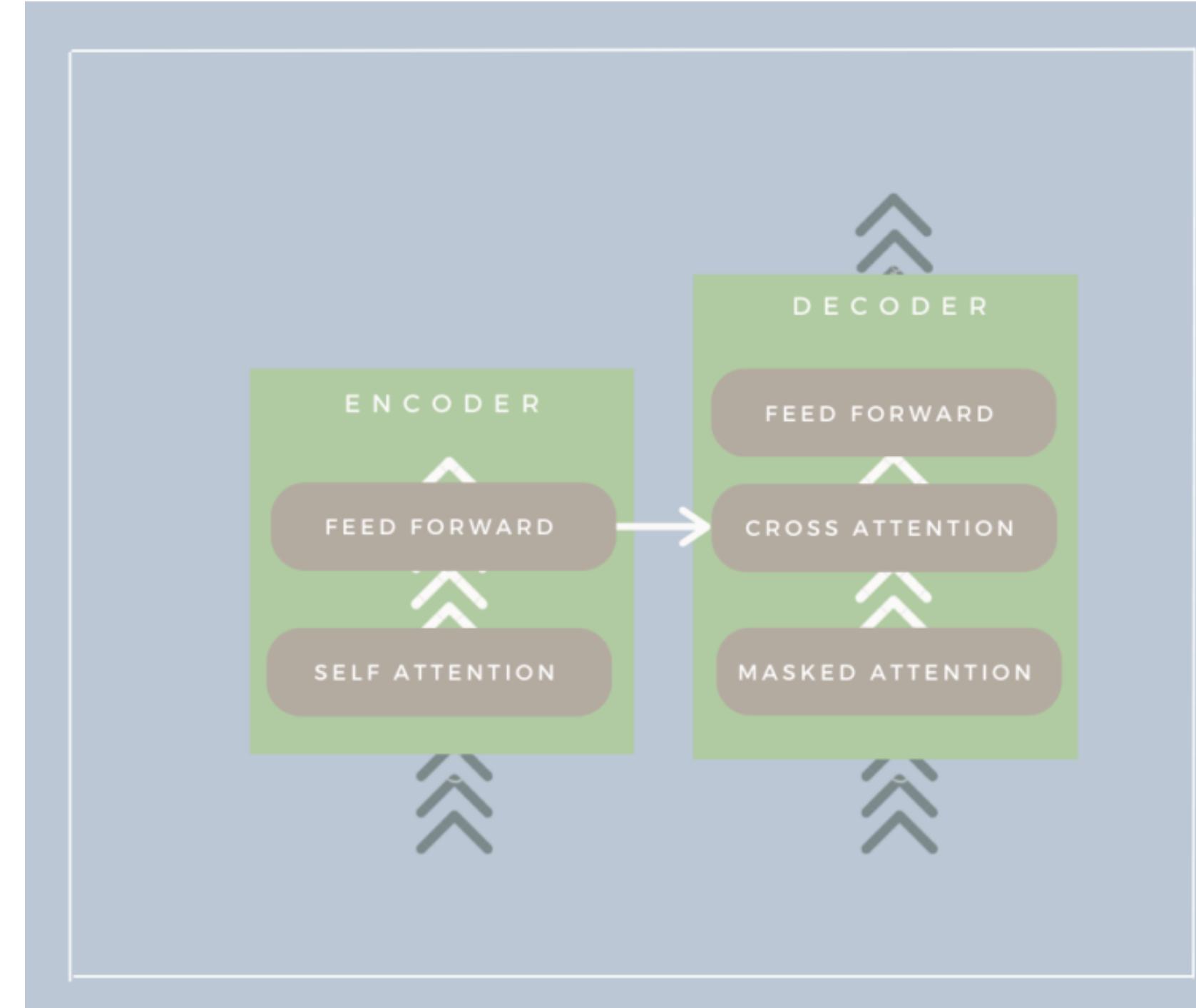
# Arquitectura dels transformers (III)

- L'entrada passa per una sèrie de capes d'encoders.
- A continuació, la sortida dels encoders passa per una sèrie de capes de decoders.
- En el paper original: **6 capes d'encoders i 6 capes de decoders.**
- També podem passar un "**target**" com a entrada, **per entrenar**



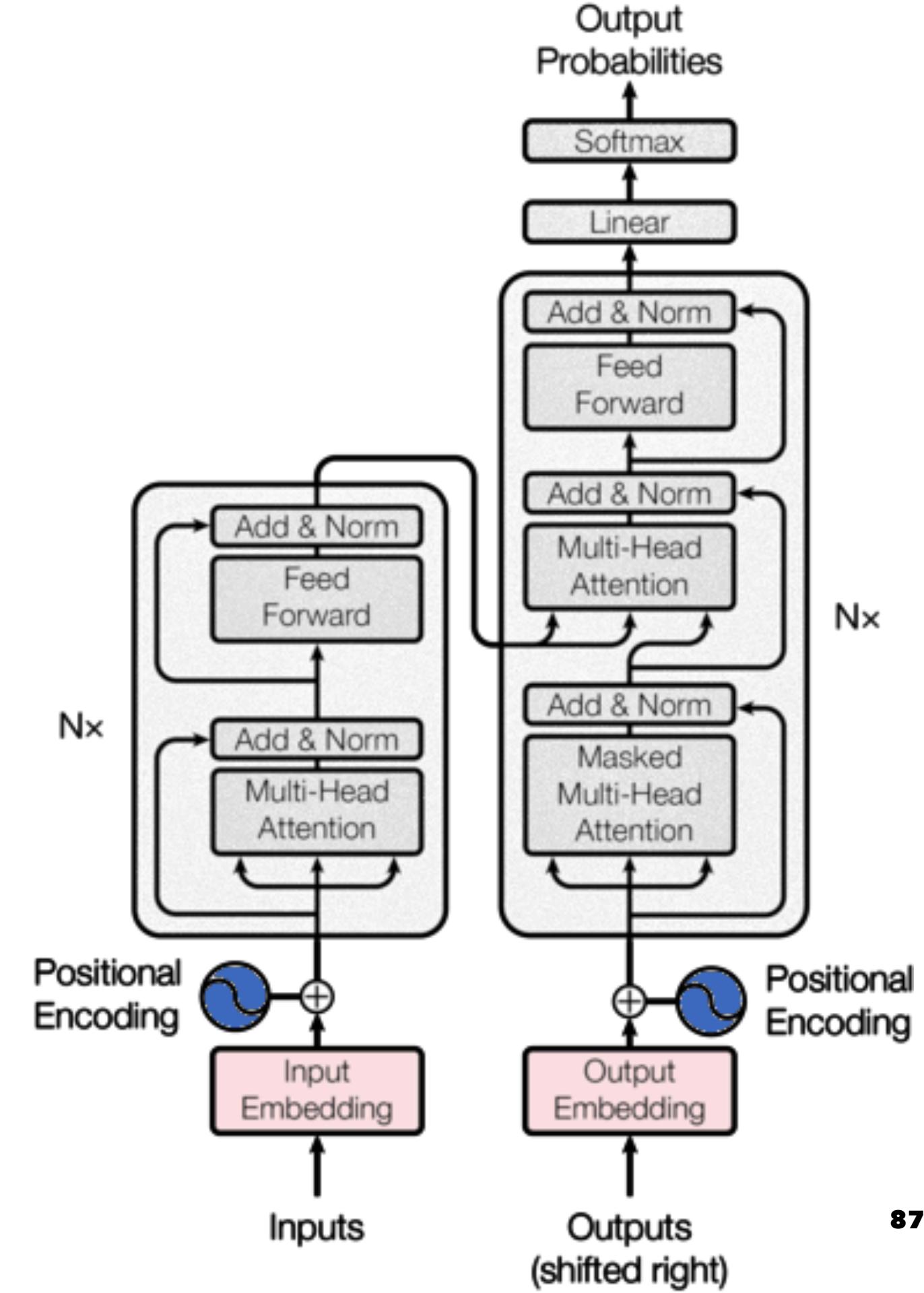
# Encoders i decoders

- Els **encoders** i **decoders** són les parts principals dels transformers.
- A nivell intern son semblants i comparteixen moltes característiques.
  - Ambdós tenen en l'entrada una (o més) capa d'**atenció** i com a sortida una capa **feed-forward** (xarxa neuronal normal).
- La diferència principal és que els **encoders** solament tenen una capa d'atenció, mentre que els **decoders** tenen dues.



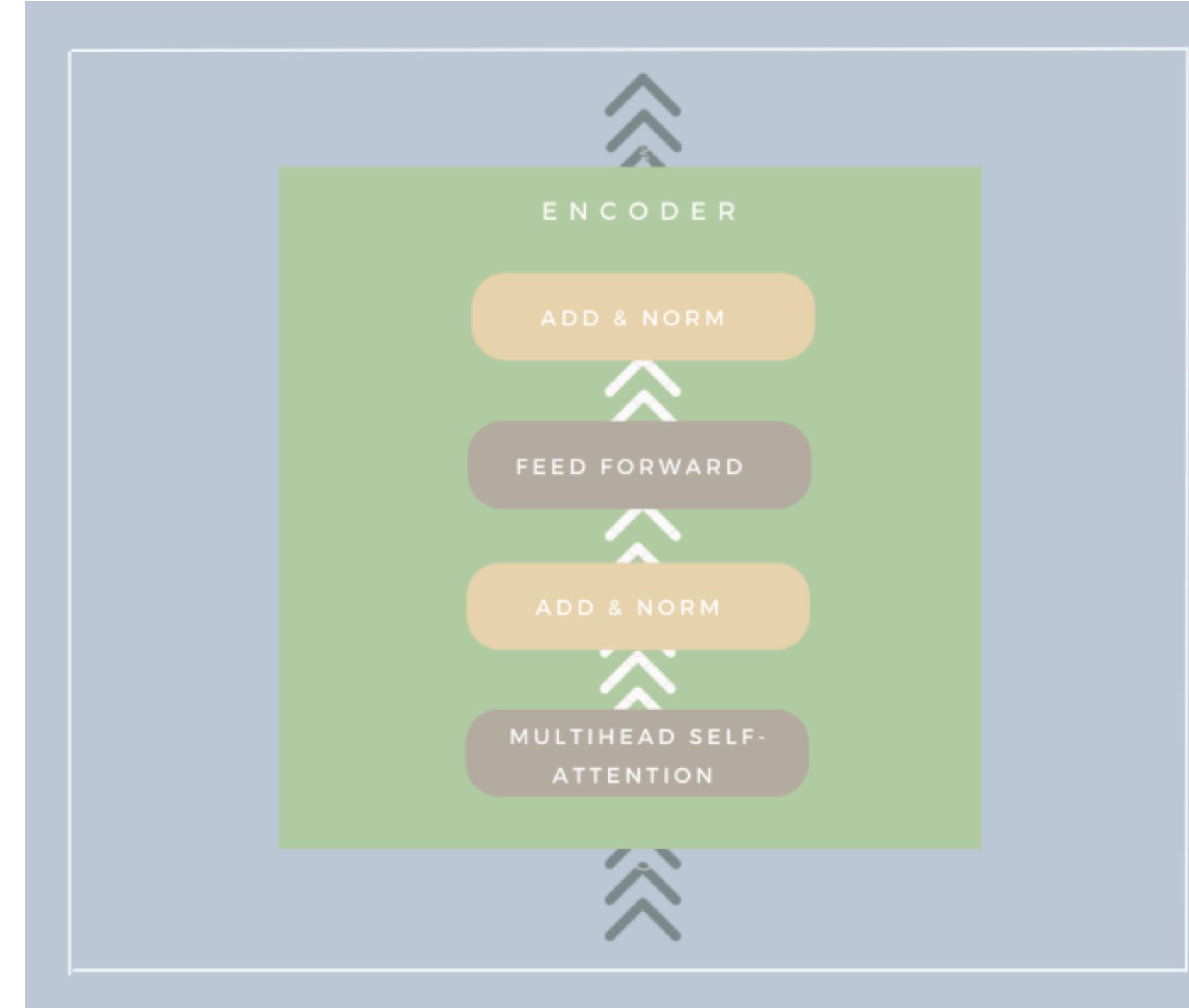
# Embeddings i posicions

- Els transformers utilitzen **embeddings** per a representar les paraules (de 512 dimensions en el paper original).
- A més, utilitzen el **positional encoding** per a representar la posició de les paraules en la seqüència.
  - Básicament una funció sinusoidal que varia segons la posició de la paraula, per lo que el mateix vector en diferents posicions serà un poc diferent.
  - $PE_{(pos,2i)} = \sin(pos/10000^{2i/d_{model}})$
- Aquest encoding manté la informació de la posició de les paraules en la seqüència; al mateix temps que permet **enviar tots els tokens a la xarxa al mateix temps**.



# Encoder

- Els **encoders** estan compostos per tres capes:
  - **Self-attention**: per a calcular la importància de cada paraula en la seqüència. A continuació veurem com funciona.
  - **Feed-forward**: per a processar la informació obtinguda de l'atenció.
  - **Normalization i connexions residuals**: per a evitar el desvaiement del gradient i facilitar el seu entrenament.



# Self-attention (I)

- El **self-attention** és el mecanisme clau dels transformers.
- Permet a la xarxa "centrar-se" en les parts importants de la seqüència.
  - Ex: en la frase "*El gat gris va a la casa*" sabem que *gris* i *gat* estan relacionats. Com ho pot saber la xarxa?
- Els transformers creen un "**Soft dictionary**" d'atencions en les paraules de la seqüència. Així, l'atenció de *gris* en *gat* serà 1 i en *casa* serà –1.
- El que el diccionari siga "soft" vol dir que pot anar modificant-se.
  - En la frase "*El gat va a la casa gris*" l'atenció de *gris* en *casa* serà 1.

# Self-attention (II)

- Per calcular el self-attention es generen tres matrius a partir de la seqüència d'entrada: **Q** (query), **K** (key) i **V** (value)
- **Q** i **K** són matrius que representen la seqüència d'entrada i **V** és la matriu que representa el valor de cada paraula.
- Per obtindre l'atenció multiplicarem **Q** per la transposada de **K**
  - Obtindrem la similitud entre les paraules.
- El resultat el multiplicarem pel valor de **V**.
  - Obtindrem la matriu d'atencions.

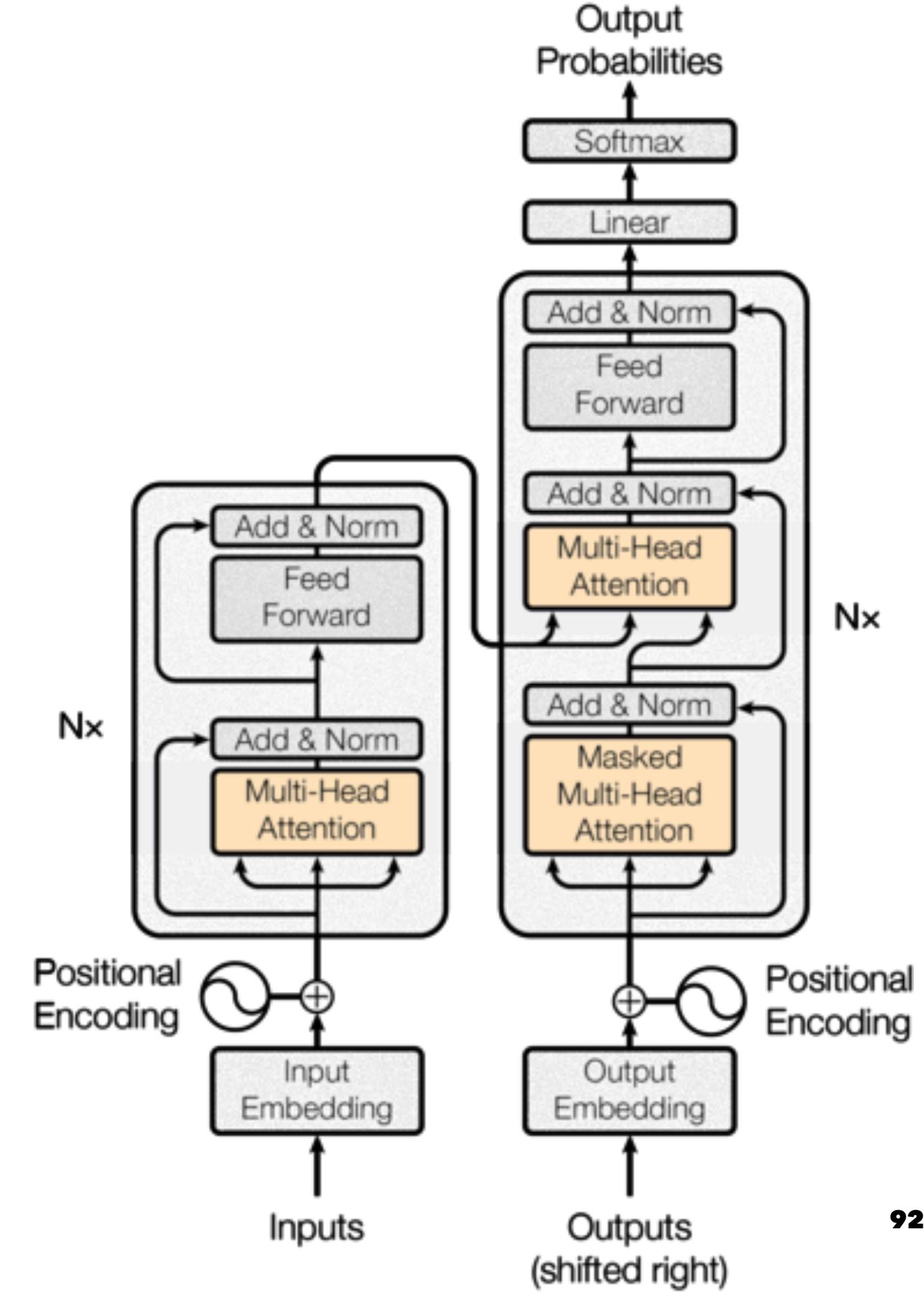
	El	perro	estaba	en	el	salón	durmiendo	tranquilo
El	Yellow							
perro		Yellow	Orange			Yellow	Yellow	Orange
estaba		Orange	Yellow					
en				Yellow				
el					Yellow			
salón		Yellow				Yellow		
durmiendo		Orange	Yellow				Yellow	
tranquilo	Orange							Yellow

# Self-attention (III)

- Els transformers utilitzen el **multi-head attention**.
- Aquesta tècnica consisteix en calcular el self-attention amb diferents grups de dimensions.
- Els transformers utilitzen **8** caps de self-attention en el paper original.
- Dels resultats es fa un promig i el resultat, segons els estudis es molt més significatiu.
- És important ressaltar que tot el procès d'atenció es paral·lel i accelerat per la GPU (multiplicació de matrius), per lo que es molt ràpid.

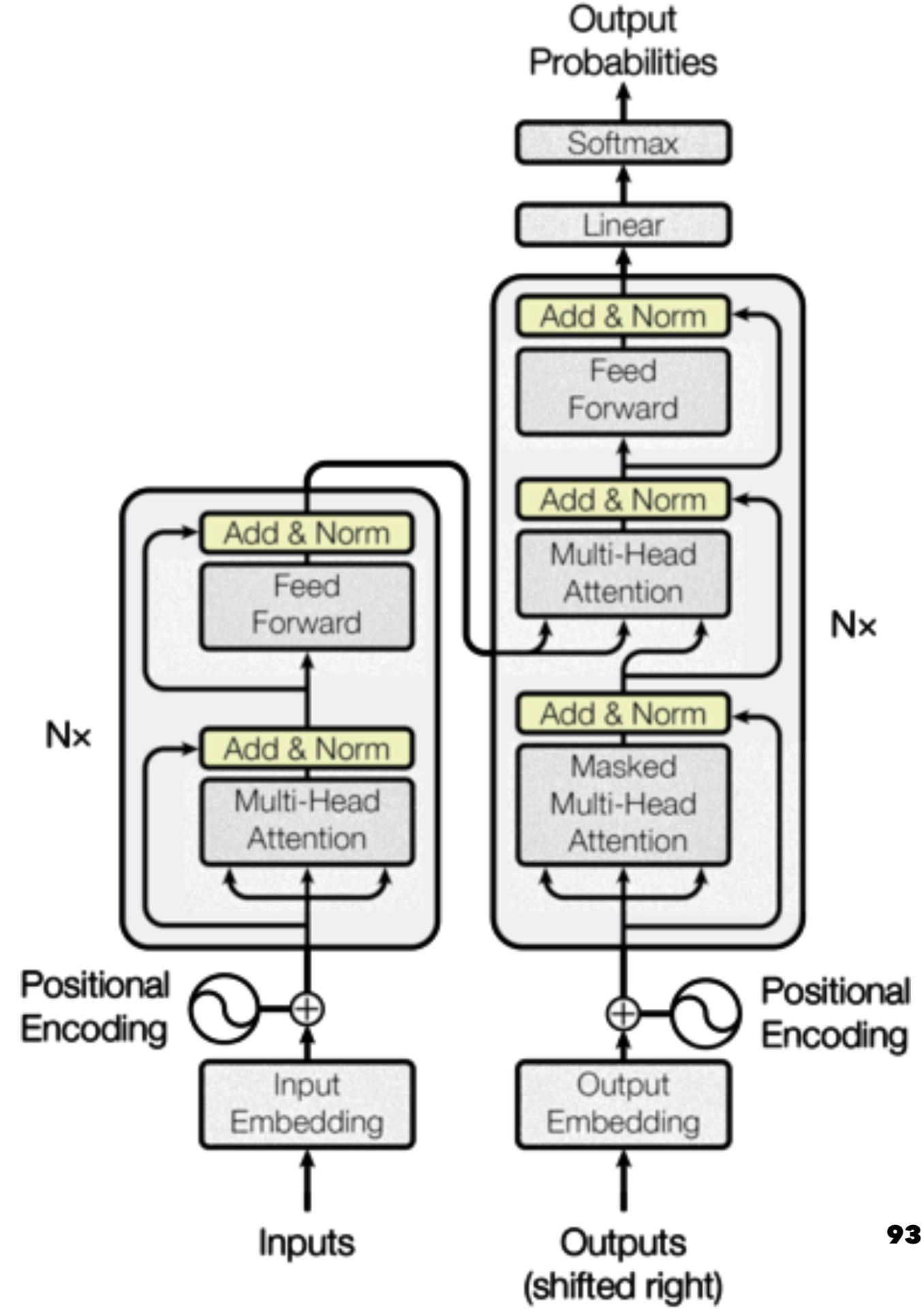
# Altres tipus d'atenció

- A més del **self-attention**, els transformers utilitzen altres tipus d'atenció:
  - **Cross-attention**: les entrades del decoder són les sortides de l'encoder. Això permet al encoder condicionar el decoder, donant-li informació sobre el context.
  - **Masked attention**: en el decoder, les paraules futures no poden ser utilitzades per a calcular l'atenció. Això evita que el model "mire al futur".



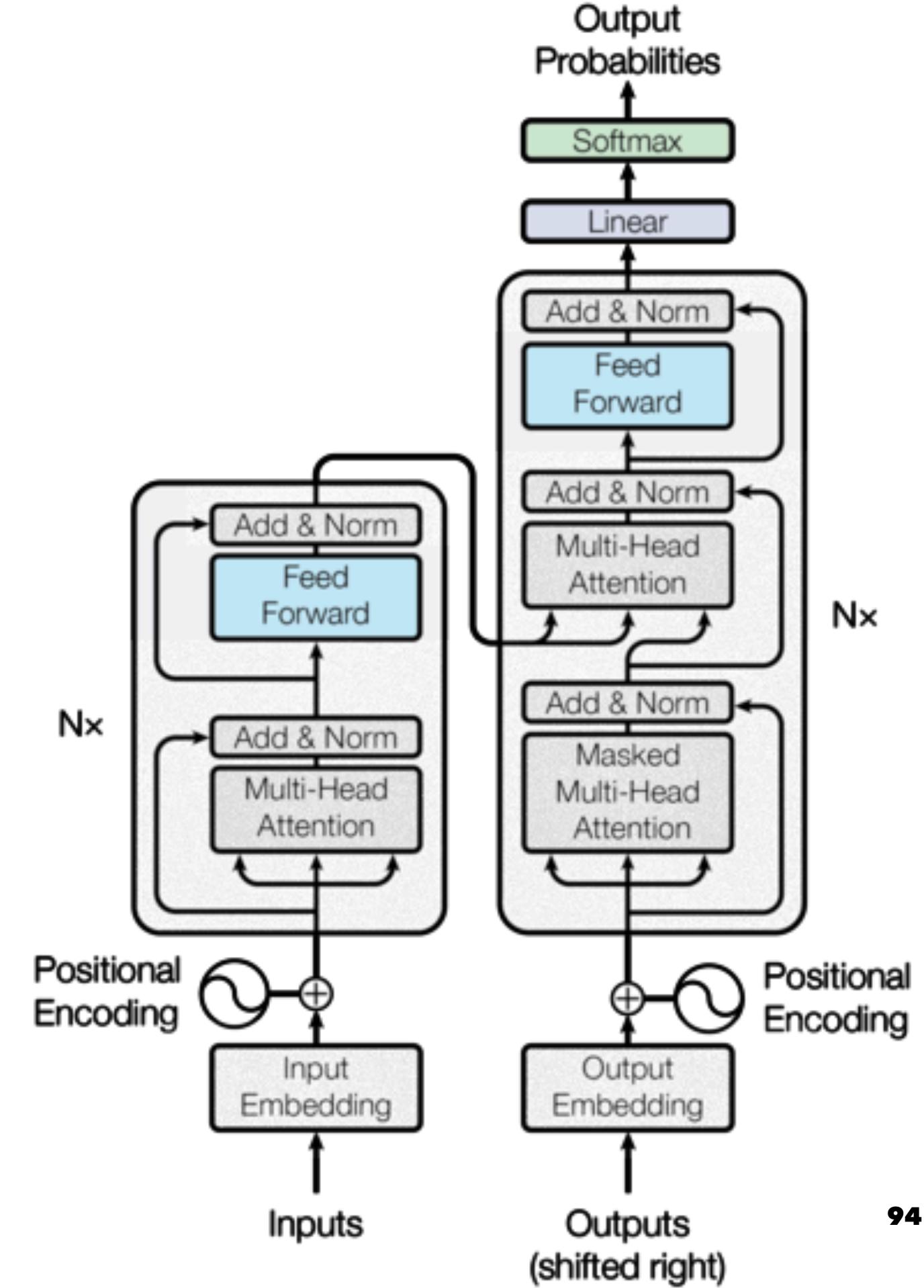
# Normalització i connexions residuals

- Les connexions residuals són una tècnica que permeten evitar el desvaitment del gradient.
  - Aquest problema es produeix quan les xarxes són molt profundes.
  - Les connexions residuals permeten que els valors d'entrada es mantinguin en les capes posteriors.
- La normalització permet que els valors d'entrada es mantinguin en un rang determinat.
  - Això facilita el seu entrenament i millora el seu rendiment.



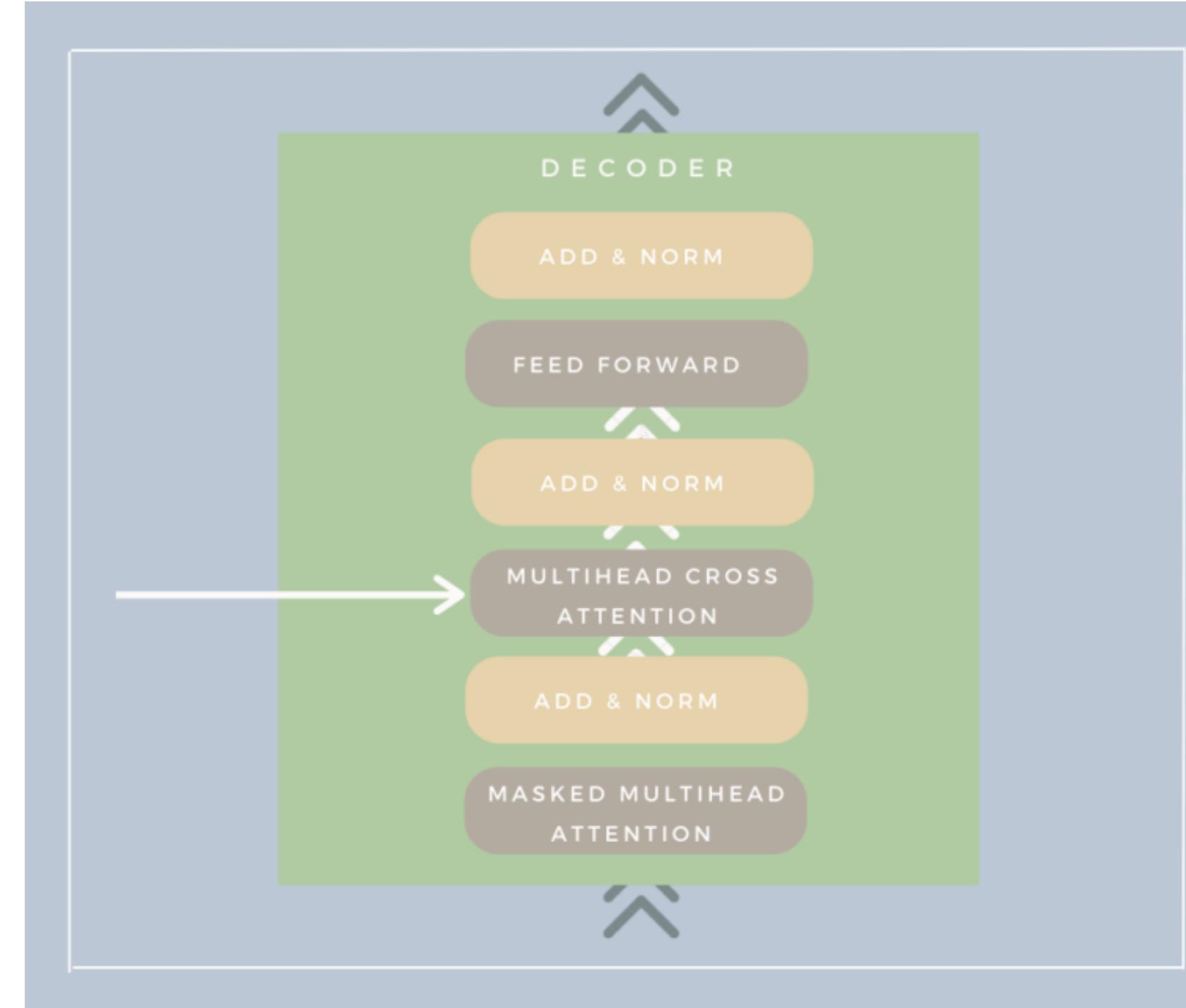
# Feed-forward

- La capa **feed-forward** és una capa de xarxa neuronal normal.
- La seva funció és processar la informació obtinguda de l'atenció.
- Hi haurà dues capes de *dropout* per a evitar l'*overfitting* i una funció d'activació no lineal (ReLU en el paper original).



# Decoder

- Els **decoders** són molt semblants als **encoders**.
- En els models normals en l'entrenament utilitzem la sortida esperada per validar el resultat.
- Per contra, en els models de llenguatge, el **target** es passa com a entrada per a entrenar el model.
- Això permet que el model aprenda a generar el text de sortida.



# Sortida final del model

- Recordem que utilitzem múltiples capes d'encoders i decoders.
- La sortida final del model és la sortida de l'última capa de decoders i passa per una capa de **softmax**.
- Aquesta sortida és un vector de longitud igual al nombre de paraules del vocabulari.
- Aquest vector representa la probabilitat de cada paraula en el vocabulari (de 0 a 1).
- La paraula amb més probabilitat serà la paraula de sortida.

# Aplicacions dels transformers

- Els transformers són models molt potents i poden ser utilitzats en moltes tasques de NLP.
- Més enllà del NLP també s'utilitzen en altres tasques com les següents:
  - **Visió per computador**: s'està utilitzant per la classificació d'imatges i altres. *Vision Transformer (ViT)*.
  - **Series temporals**: és un us molt obvi en realitat, ja que les seqüències de paraules són molt semblants a les seqüències de fets en el temps.
  - **Generatius**: s'utilitzen per a generar textos, imatges, etc.
  - **Aprendentatge per reforç**: s'utilitzen per a entrenar agents en entorns complexos.
- Tots aquests usos porten a pensar que els transformers són una de les eines més potents de l'actualitat i que poden arribar a substituir molts dels models actuals.