

# EVOLUCIÓ LINGÜÍSTICA *IN SILICO*

De dades a gran escala a agents artificials que creen llengües des de zero

Thomas Brochhagen

Tots parlem una llengua i tenim una certa intuïció al respecte: des del vocabulari fins a la forma d'ajuntar les paraules d'acord amb la seua gramàtica. No obstant això, encara ens queden moltes coses per entendre sobre els processos que fan el llenguatge possible i en donen forma a l'evolució. Els avanços computacionals recents ens han permès abordar aquestes qüestions des de nous angles. Aquest article destaca els mètodes i descobriments que ha portat l'era de la computació, des de l'aprenentatge a partir de dades a gran escala provinents de milers d'idiomes fins a l'evolució de llengües creades per la intel·ligència artificial.

Paraules clau: llenguatge, evolució, intel·ligència artificial, tipologia, universals.

A diferència dels espècimens biològics, les llengües no deixen cap empremta en el registre fòssil. Això fa que estudiar-ne l'evolució siga una tasca complicada. No tenim proves directes sobre com s'estructurava la parla dels nostres avantpassats ni sabem quins canvis va patir fins a la seua forma actual, milers d'anys després. La reacció més tristament cèlebre a aquestes dificultats va ser la decisió de la Societat Lingüística de París en 1866 de prohibir qualsevol debat sobre la qüestió (Corballis, 2008).

Malgrat els obstacles, la pregunta de com evolucionen els idiomes i el que això ens diu sobre nosaltres mateixos sempre ha fascinat els experts. La investigació no només ha continuat fins als nostres dies, sinó que ha començat a accelerar-se notablement en l'era de la computació. En aquest article, revisarem una sèrie de mètodes i descobriments facilitats per l'avanç de la computació.

Sense espècimens lingüístics originals a disseccionar, la investigació sobre l'evolució de les llengües s'ha centrat tradicionalment en tres tipus de qüestions.

En primer lloc, es poden inferir patrons regulars a partir de registres històrics de llengües amb tradició escrita. En segon lloc, per a abordar qüestions com si el llenguatge va sorgir gradualment o sobtadament, s'estudien les capacitats cognitives dels humans moderns i es comparen amb les que podrien haver tingut els nostres avantpassats, o amb les dels nostres parents més pròxims, com els ximpanzés i els gibons. En tercer lloc, es recopilen i comparen dades sobre els diferents idiomes parlats actualment arreu del món. D'aquesta forma, la diversitat de llengües del present ens serveix de finestra als processos evolutius dels quals en són el resultat.

Atès que les llengües són l'expressió de les trajectòries evolutives del seu passat, els seus punts en comú i les seues diferències ens poden donar pistes importants.

Aquestes tres línies d'investigació continuen en marxa en l'actualitat. No obstant això, l'era actual de computació accessible i assequible ha afegit noves capacitats i dimensions a l'estudi de l'evolució de les llengües. D'una banda, aquests esforços compten ara

**«L'era actual de computació accessible i assequible ha afegit noves capacitats i dimensions a l'estudi de l'evolució de les llengües»**

## COM CITAR AQUEST ARTICLE:

Brochhagen, T. (2024). Evolució lingüística *in silico*. De dades a gran escala a agents artificials que creen llengües des de zero. *Metode Science Studies Journal*. <https://doi.org/10.7203/metode.15.27692>

amb el suport de potents algoritmes que ens permeten quantificar les proves de teories rivals sobre l'evolució, construir millors mapes genealògics de les llengües i predir millor els canvis futurs. De l'altra, ara l'evolució de les llengües també s'estudia artificialment, amb intel·ligències artificials que creen llengües per si mateixes.

## ■ COM EVOLUCIONA EL SIGNIFICAT A TRAVÉS DE LES LLENGÜES, LES CULTURES I EL TEMPS

Cada llengua té la seua idiosincràsia. En anglès, els conceptes de dits de les mans i dels peus s'expressen amb dues paraules diferents: *finger* i *toe*. En català, ambdós remeten al mateix terme: *dit*. Sorprenentment, aquests dos conceptes també es coexpressen en més de 130 idiomes de tot el món (Rzymiski et al., 2020). És a dir, més de 130 idiomes utilitzen una sola paraula per a expressar tots dos conceptes: des de la llengua secoya, parlada en l'Amazones entre Equador i Colòmbia, fins a la llengua takia de Papua Nova Guinea. Trobem molts patrons similars en els vocabularis de tot el món. *Fulla* i *ploma* també se solen expressar amb la mateixa paraula, igual que *bo* i *bonic*, *petit* i *jove*, i *forat* i *cova*. Aquests patrons no es poden explicar per una ascendència compartida o per proximitat geogràfica. El que cal explicar (mitjançant l'estudi de l'evolució del llenguatge) és, per tant, què hi ha en la relació entre els dits de les mans i dels peus, o entre *forat* i *cova*, o entre *fulla* i *ploma*, perquè aquests conceptes s'assimilen en tants idiomes. En abordar aquestes qüestions, el que més ens interessa és allò que ens diuen sobre com organitzem el significat els éssers humans.

Poder abordar aquesta qüestió basant-nos no només en un grapat de llengües sinó en dades de centenars o milers d'aquestes és un dels avanços recents més importants en aquest camp. Alguns exemples de nous recursos a gran escala inclouen la Base de Dades de Colexificacions Interlingüístiques (Rzymiski et al., 2020), que registra l'expressió de conceptes en més de 3.000 idiomes; o Kinbank, la base de dades mundial sobre parentiu terminològic (Passmore et al., 2023), que recopila dades sobre com s'expressen els termes de parentiu (per exemple, si existeix un terme per al concepte d'*oncle*, o si les idees d'*avi patern* o *matern* s'expressen amb paraules diferents). Convé deixar clar que, encara que aquests recursos són nous, es basen en el treball de camp fonamental dels lingüistes que han documentat –i continuen documentant– les llengües de tot el món. La novetat és que aquesta mena de dades està ara convenientment digitalitzada i accessible en formats unificats, i que ara tenim la potència i els mètodes informàtics necessaris per a processar-les automàticament.



Imatge de Freepik

Cada llenguatge té la seua idiosincràsia. En molts idiomes s'utilitza una mateixa paraula per a expressar dos conceptes diferents, com *bo* i *bonic*, *petit* i *jove*, o *forat* i *cova*. Aquest patró no es pot explicar per una ascendència compartida o per proximitat geogràfica.

## «El significat s'organitza de forma regular en tots els idiomes humans, i l'evolució de tots aquests segueix patrons predictibles»

Si volem saber què fa que alguns conceptes siguin més comunament expressats amb el mateix terme que altres, el següent pas és captar les relacions entre aquests. Perquè això funcione, els conceptes han de representar-se d'alguna manera. Això es pot aconseguir aprofitant tècniques computacionals modernes. Per exemple, és probable que el vincle entre *finger* i *toe* en anglès, com el de *forat* i *cova*, es base, almenys en certa manera, en la similitud visual. Podem accionar aquesta idea gràcies a models moderns de visió, que processen grans quantitats d'imatges per a construir una representació informàtica d'aquestes. D'aquesta forma, podem mesurar com són de semblants visualment els dits de les mans i dels peus. De manera semblant, podem utilitzar altres recursos per a conèixer, per exemple, com és de similar el context d'ús de diferents conceptes, la seua proximitat en la memòria associativa, etc. En poques paraules, diferents tècniques modernes –construïdes sobre el treball interdisciplinari en psicologia, intel·ligència artificial, processament del llenguatge natural i l'estadística– ens poden ajudar a representar computacionalment les diferents formes en què dos conceptes s'assemblen (o bé què els separa).

El resultat és un recurs que ens diu com s'expressen els conceptes en diferents idiomes i quina relació els uneix. És a dir, els dits de mans i peus són visualment similars, apareixen en contextos semblants i estan estretament relacionats (si sentim *finger*, podem pensar automàticament en



la paraula *toe*). En canvi, encara que un dit pot ser visualment similar a una salsitxa, no apareixen en el mateix context ni guarden una relació estreta. Gràcies a aquesta mena d'informació, recentment s'han fet descobriments importants. En primer lloc, les paraules per a conceptes similars s'atrauen universalment entre si (Xu et al., 2020). És a dir, és més fàcil que aquests conceptes s'expressen amb el mateix terme, siga en mandarí o en holandès. És probable que això ocorregui perquè expressar conceptes semblants amb la mateixa paraula en facilita l'aprenentatge. En segon lloc, aquesta tendència universal té un límit: dos conceptes tan semblants que poden confondre's no s'atrauen entre si (Brochhagen i Boleda, 2022). Per exemple, utilitzar la mateixa paraula per a designar el *dijous* i el *dimecres* és una idea amb poc de futur. No obstant això, els termes *finger* i *toe* funcionen en anglès perquè el context sol deixar clar a quin ens referim. En tercer lloc, aquests patrons poden respondre a una tendència universal de les llengües per resultar alhora simples («utilitzar com menys paraules millor») i efectives («utilitzar diferents paraules per a conceptes que volem distingir», com *dimarts* i *dijous*). És a dir, els idiomes estan modelats per la necessitat de mantenir un equilibri entre ser simples i ser informatius (vegeu Kemp i Regier, 2012; Zaslavsky et al., 2018). Si un idioma és massa simple, no és útil per a parlar amb altres. Si és massa complex, és poc manejable o impossible d'aprendre. L'evolució de les llengües aconsegueix un equilibri entre ambdós extrems i explica com s'organitza el significat entre diferents idiomes. Per acabar, els mateixos factors que prediuen si dos conceptes s'atrauen entre si en diferents idiomes expliquen l'ús del llenguatge dels xiquets i les xiquetes (Brochhagen et al., 2023): quan de petits li diem *cotxe* a un vaixell, *gos* a una vaca o *sol* a un llum, estem utilitzant la mateixa relació semàntica que es reflecteix universalment en les nostres llengües. Quan a un infant li falta una paraula i n'utilitza una altra per a fer-se entendre (com ara dir-li *gosset* a una vaca), a un nivell fonamental, està fent una cosa similar al que fan, en català o en txetxè, els parlants que usen el mateix mot per a referir-se als dits de les mans i dels peus.

En resum, això indica que el significat s'organitza de forma regular en tots els idiomes humans, i que l'evolució de tots aquests segueix patrons predictibles que poden destil·lar-se a partir de les dades. Aquests patrons són el resultat de les forces que donen forma al llenguatge. En particular, l'impuls cap a llengües que siguin alhora simples i informatives: prou simples per a poder aprendre-les, però prou informatives perquè podem entendre'ns els uns als altres.

## ■ AGENTS ARTIFICIALS QUE INVENTEN LLENGÜES DES DE ZERO

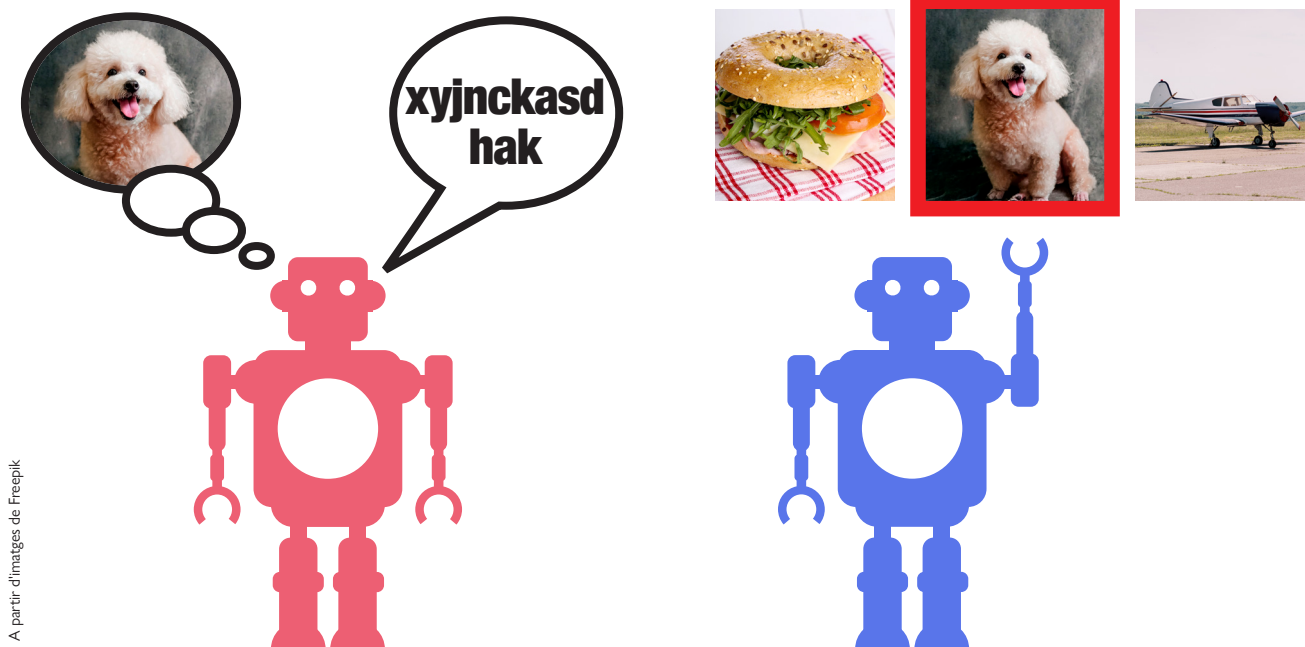
Una forma radicalment distinta d'abordar l'evolució de les llengües és a través de la lent de la intel·ligència artificial. Existeixen dues motivacions principals per a estudiar l'evolució del llenguatge *in silico*. En primer lloc, les llengües humanes són producte de la nostra biologia, ecologia i cultura. La forma en què processem, percebem i interactuem amb el món és el que determina en última instància les propietats del llenguatge humà. No obstant això, existeix un gran debat sobre quins són els factors biològics, ecològics o culturals responsables de propietats lingüístiques concretes. Estudiar els agents artificials i el seu llenguatge és, per tant, un camp d'exploració prometedora. A diferència dels humans, en aquest cas controlem fins a l'últim detall de la «biologia», «ecologia» i «cultura» d'aquests ens. En segon lloc, encara que la intel·ligència artificial ha aconseguit avanços impressionants en els dos últims anys –sobretot amb l'auge de ChatGPT i eines similars– les llengües artificials continuen allunyades de les humanes. Manquen de la flexibilitat i llibertat del nostre discurs. Mitjançant l'estudi de l'evolució del llenguatge artificial, esperem aprendre sobre el llenguatge, però també com aconseguir que els agents artificials creïn millors llenguatges, més semblants als humans (Lazaridou i Baroni, 2020).

### «Existeix un gran debat sobre quins són els factors biològics, ecològics o culturals responsables de propietats lingüístiques concretes»

Una configuració popular per animar els agents artificials a crear els seus propis llenguatges es denomina *joc de referència*, del qual existeixen moltes variants. La configuració més senzilla consisteix en un emissor i un receptor. La tasca de l'emissor consisteix a fer que el receptor trie una imatge

determinada d'entre un conjunt d'imatges candidates. Per exemple, tal com s'il·lustra en la Figura 1 en la pàgina següent, la tasca pot consistir a transmetre la imatge amb el gos blanc. A continuació, l'emissor envia un missatge creat per si mateix al receptor. El receptor la interpreta i selecciona una imatge (per exemple, una de les tres de la Figura 1). Aleshores, ambdós reben informació sobre si l'elecció era correcta o no. Després, el joc es repeteix durant moltes més rondes.

Com pot sorgir el llenguatge a partir d'aquest tipus de situació? Al principi, l'emissor no té una forma establerta per a transmetre res al receptor. El millor que pot fer és enviar un missatge aleatori. D'igual forma, el receptor no té manera d'interpretar el missatge i es veu obligat a elegir la imatge a l'atzar. No es transfereix cap informació. No obstant això, amb el temps, els missatges inicialment aleatoris adquireixen significat mitjançant la repetició: si



A partir d'imatges de Freepik

Figura 1. Dos agents artificials parlant sobre imatges d'ImageNet (Deng et al., 2009). L'emissor (esquerra) vol que el receptor (dreta) seleccione una imatge (el gos blanc). Per a això, envia un missatge. A continuació, el receptor endevina la imatge que tenia al cap el remitent, i el joc es repeteix amb un conjunt diferent d'imatges. En la majoria dels casos, amb el temps els agents inventen llenguatges que els permeten comunicar-se amb gran precisió.

el receptor endevina la imatge, és més probable que en el futur els agents utilitzin el mateix missatge per a aquest mateix tipus d'imatge. Aquesta situació recorda a jugar moltes rondes de «xarades»: la mímica que ha funcionat anteriorment es reutilitza, i això fa el joc molt més fluid. Si juguem habitualment amb els amics, és probable que desenvolupem un vocabulari gestual complex que ens permeti comunicar-nos ràpidament i bé. Aquest mateix principi s'aplica als agents artificials.

L'interessant no és només que els agents siguin capaços de desenvolupar el seu propi llenguatge *ex nihilo*, sinó quin tipus de llenguatges inventen. Els resultats en aquest camp han sigut, si menys no, intrigants. Una lliçó important de l'aparició del llenguatge artificial és que no hem d'assumir que la forma en què els humans resollem les tasques comunicatives és l'única solució possible. Trobem un exemple conegut en Bouchacourt i Baroni (2018), els quals van utilitzar una configuració similar a la de la Figura 1. Després que els agents crearen el seu propi sistema comunicatiu, Bouchacourt i Baroni van posar a prova com eren d'hàbils per a parlar sobre les imatges utilitzades en el seu entrenament (gossos, avions i aliments com els que es mostren en la Figura 1) o bé parlar sobre versions distorsionades d'aquestes imatges que no havien vist anteriorment. Les distorsions semblaven, bàsicament, la neu del soroll blanc de la televisió però acolorida. Sorprenentment, els agents artificials podien comunicar-se quasi igual de bé sobre les imatges distor-

sionades que sobre les originals. Com és possible que un llenguatge artificial creat per a parlar d'imatges de gossos, menjar i avions servís també per a parlar de versions distorsionades que no s'assemblen gens a l'original? Aquest desconcertant resultat s'explica perquè aquests ens no pensem com les persones. Probablement, els éssers humans crearien un llenguatge que els permetria parlar dels objectes mostrats en les imatges: *gossos*, *bagels*, etc. Els agents artificials, en canvi, semblaven haver creat un llenguatge amb el qual podien parlar de característiques visuals superficials de les imatges. És a dir, parlaven de coses com la tonalitat de determinats píxels de les imatges, en lloc de sobre si mostraven bagels, gossos o avions. Aquestes característiques superficials encara eren presents en les imatges distorsionades, però els humans som incapaços de percebre-les. La lliçó és que, mentre que els éssers humans interpretem i descrivim imatges de forma natural basant-nos en els objectes o escenes que representen, els agents artificials en tenen prou amb parlar de píxels i colors. El que a nosaltres i a ells els resulta natural pot ser ben diferent. Per tant, si volem que inventen llenguatges similars als nostres, hem d'enginyar-nos-les perquè vegem el món com nosaltres.

Una altra troballa en aquesta línia és que les llengües artificials creades d'aquesta manera tampoc tenen la tendència de les llengües humanes a la concisió. Una empremta estadística universal comuna a totes les llengües humanes és que les paraules més freqüents són les



més curtes. Per exemple, en anglès els articles *the* i *a* són paraules molt freqüents i curtes en comparació a *romboïdal*, un terme prou infreqüent. Això és eficaç perquè estalvia esforç a parlants i oients: les paraules que més usem són les més curtes i fàcils d'emetre. Els agents artificials tenen la tendència oposada (Chaabouni et al., 2019). Tendeixen a expressar conceptes freqüents amb paraules com més llargues millor i, al seu torn, totes les paraules tendeixen a ser més llargues del necessari. La raó d'aquest comportament és senzillament que, mentre que als humans ens importa que les paraules o les frases siguin molt llargues, a una màquina, no. Per contra, les cadenes més llargues els permeten crear missatges més fàcils d'interpretar per altres agents artificials, perquè els proporcionen més caràcters amb què codificar el concepte pretès.

Els anteriors són només dos exemples entre una gran quantitat de descobriments d'aquesta disciplina incipient. Al principi, pot semblar obvi que, perquè les llengües artificials s'assemblen més a les humanes, els seus usuaris han de preocupar-se pel mateix que nosaltres (en els exemples anteriors: *reduir la longitud de les paraules i parlar d'objectes i no de píxels*). No obstant això, abans de fer aquests estudis, és molt menys evident què és exactament el que importa de com interactuem i processem la informació. En altres paraules, aquests resultats ens ensenyen valuoses lliçons sobre quines parts de l'experiència humana donen forma al llenguatge. Això les converteix en un camp de proves ideal per a estudiar l'evolució del llenguatge.

## ■ EL FUTUR D'APRENDRE DEL PASSAT

Aquest article aborda algunes formes noves d'estudiar l'evolució del llenguatge: a través de dades a gran escala i mitjançant experiments sobre la creació de llenguatge artificial. Ambdues són possibles gràcies a recursos i mètodes informàtics dels quals no disposàvem fins fa pocs anys. Tanmateix, els vells reptes continuen vigents. L'estudi de l'evolució del llenguatge continua sent abductiu i basat en hipòtesis, i és poc probable que aconseguim aïllar els ingredients i processos concrets que la constitueixen. Al cap i a la fi, el llenguatge humà és el producte complex de molts factors relacionats. En qualsevol cas, la caixa d'eines de què disposem es troba en constant expansió i ens permet continuar perfeccionant i qüestionant les teories actuals.

Igual que ocorre amb l'estudi del passat, és difícil predir l'evolució futura d'aquest camp. Del que podem estar relativament segurs és que la diversitat lingüística tindrà un paper cada vegada més important en els pròxims anys. Els enfocaments computacionals actuals solen requerir una quantitat ingent de dades. Per això, la major part de la investigació actual a gran escala es basa en unes poques llengües seleccionades amb una extensa repre-

sentació en registres tant escrits com orals. No obstant això, els esforços per oferir una imatge menys esbiaixada i a escala de la diversitat lingüística del món –com el corpus DoReCo (Seifart et al., 2022) o BLOOM (BigScience Workshop, 2023)– indiquen que les coses també estan canviant en aquest sentit. La contínua digitalització de llengües i dialectes infrarepresentats probablement aporte una gran quantitat de dades noves que ens permetran posar a prova idees antigues i noves. Aquest camp continua evolucionant, igual que les llengües.

## REFERÈNCIES

- Bouchacourt, D., & Baroni, M. (2018). How agents see things: On visual representations in an emergent language game. En E. Riloff, D. Chiang, J. Hockenmaier & J. Tsujii, *Proceedings of the 2018 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing* (p. 981–985). Association for Computational Linguistics.
- BigScience Workshop. (2023). BLOOM: A 176B-parameter open-access multilingual language model. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.05100>
- Brochhagen, T., & Boleda, G. (2022). When do languages use the same word for different meanings? The Goldilocks principle in colexification. *Cognition*, 226, 105179. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2022.105179>
- Brochhagen, T., Boleda, G., Gualdoni, E., & Xu, Y. (2023). From language development to language evolution: A unified view of human lexical creativity. *Science*, 381(6656), 431–436. <https://doi.org/10.1126/science.ade7981>
- Chaabouni, R., Kharitonov, E., Dupoux, E., & Baroni, M. (2019). Anti-efficient encoding in emergent communication. En *Proceedings of NeurIPS 2019 (33d Conference on Neural Information Processing Systems)* (p. 6290–6300). Curran Associates.
- Corballis, M. C. (2008). Not the last word. *American Scientist*, 96(1), 68–70.
- Deng, J., Dong, W., Socher, R., Li, L.-J., Li, K., & Fei-Fei, L. (2009). ImageNet: A large-scale hierarchical image database. En *IEEE Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (p. 248–255). <https://doi.org/10.1109/CVPR.2009.5206848>
- Kemp, C., & Regier, T. (2012). Kinship categories across languages reflect general communicative principles. *Science*, 336(6084), 1049–1054. <https://doi.org/10.1126/science.1218811>
- Lazaridou, A., & Baroni, M. (2020). Emergent multi-agent communication in the deep learning era. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2006.02419>
- Rzyski, C., Tresoldi, T., Greenhill, S. J., Wu, M.-S., Schweikhard, N. E., Koptjevskaja-Tamm, M., Gast, V., Bodt, T. A., Hantgan, A., Kaiping, G. A., Chang, S., Lai, Y., Morozova, N., Arjava, H., Hübler, N., Koile, E., Pepper, S., Proos, M., Van Epps, B., ... List, J.-M. (2020). The database of cross-linguistic colexifications, reproducible analysis of cross-linguistic polysemies. *Scientific Data*, 7, 13. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0341-x>
- Seifart, F., Paschen, L., & Stave, M. (2022). Language Documentation Reference Corpus (DoReCo) 1.2. Berlin & Lyon: Leibniz-Zentrum Allgemeine Sprachwissenschaft & laboratoire Dynamique Du Langage (UMR5596, CNRS & Université Lyon 2). <https://doi.org/10.34847/nkl.7cbfq779>
- Passmore, S., Barth, W., Greenhill, S. J., Quinn, K., Sheard, C., Argyriou, P., Birchall, J., Bower, C., Calladine, J., Deb, A., Diederer, A., Metsäranta, N. P., Araujo, L. H., Schembri, R., Hickey-Hall, J., Honkola, T., Mitchell, A., Poole, L., Rácz, P. M., ... Jordan, F. M. (2023). Kinbank: A global database of kinship terminology. *PLOS ONE*, 18(5), e0283218. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283218>
- Xu, Y., Duong, K., Malt, B. C., Jiang, S., & Srinivasan, M. (2020). Conceptual relations predict colexification across languages. *Cognition*, 201, 104280. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2020.104280>
- Zaslavsky, N., Kemp, C., Regier, T., & Tishby, N. (2018). Efficient compression in color naming and its evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(31), 7937–7942. <https://doi.org/10.1073/pnas.1800521115>

**THOMAS BROCHHAGEN.** Professor ajudant doctor en Ciència Cognitiva Computacional en el Departament de Traducció i Ciències del Llenguatge de la Universitat Pompeu Fabra (Espanya). Les seues àrees d'investigació inclouen l'evolució del llenguatge, la intel·ligència artificial, els models bayesians i l'estadística. ✉ [thomas.brochhagen@upf.edu](mailto:thomas.brochhagen@upf.edu)