

**Lluís Barceló-Coblijn**

Universitat de les Illes Balears

lluis.barcelo@uib.cat

Recepció: 15/03/2013, acceptació: 11/06/2013

**Resum:** La complexitat es troba arreu del món natural. Diversos fets naturals s'han analitzat a través de les xarxes, amb la qual cosa s'ha pogut constatar que rere un patró de complexitat hi ha un conjunt d'elements que interactuen els uns amb els altres. En aquest treball es proposa contemplar la facultat del llenguatge com a sistema natural complex. La complexitat del llenguatge es pot detectar almanco en dos àmbits: en el sociolingüístic i en el seu desenvolupament ontogènic. Els estudis de xarxes mostren que el tipus de desenvolupament que segueix la sintaxi no és gaire diferent del de certes dinàmiques socials. Aquests estudis mostren un alt grau d'homogeneïtat quant a les fases de desenvolupament, alhora que corroboren una íntima relació entre el lèxic i la sintaxi.

**Mots clau:** xarxes petit-món, xarxes sintàctiques, adquisició, ontogènia, sociolingüística

## El lenguaje como sistema natural complejo

**Resumen:** La complejidad se encuentra por todo el mundo natural. Diversos hechos naturales han sido analizados a través de las redes, por lo que se ha podido constatar que tras un patrón de complejidad había un conjunto de elementos que interactúan unos con otros. En este trabajo se propone contemplar la facultad del lenguaje como sistema natural complejo. La complejidad del lenguaje puede ser observada al menos en dos ámbitos: en el sociolingüístico y en el desarrollo ontogénico. Los estudios de redes muestran que el tipo de desarrollo que sigue la sintaxis no es muy diferente del de ciertas dinámicas sociales. Estos estudios muestran un alto grado de homogeneidad en cuanto a las fases de desarrollo, a la vez que corroboran una íntima relación entre el léxico y la sintaxis.

**Palabras clave:** redes pequeño mundo, redes sintácticas, adquisición, ontogenia, sociolingüística

## Language as a Complex Natural System

**Abstract:** Complexity can be found all over the natural world. Several natural facts have been analyzed by means of networks, so that it has been possible to attest that behind a pattern of complexity there is a set of interacting elements. The present work proposes to consider the language faculty as a natural complex system. Linguistic complexity can be observed at least at two levels: the sociolinguistic dynamics and in language ontogeny. Network studies show on the one hand that syntactic development closely follows social dynamics. These studies show a high level of homogeneity regarding the developmental stages and at the same time a close relationship between the lexicon and the syntax.

## 1. INTRODUCCIÓ

El llenguatge mostra una reconeguda complexitat que encara no s'ha copsat del tot. Sobretot la sociolingüística i la pragmàtica han mostrat que el llenguatge va més enllà de l'esquema emissor-canal-missatge-receptor. L'estudi de la complexitat social del llenguatge (i de les dinàmiques socials humanes en general) ha estat una primera finestra a través de la qual s'ha observat amb deteniment la complexa interacció entre individus, però també entre els elements que componen el missatge públic. Curiosament, els models que descriuen la complexitat social els han aplicat els físics en altres àmbits de la natura amb resultats que mostren que les dinàmiques complexes que es troben a nivell molecular, per exemple, són molt semblants a aquelles que es donen entre individus d'un mateix grup humà.

Mostrarem aquí un cas nou de convergència dinàmica. La complexitat típica del llenguatge es pot observar en diferents àmbits de la natura i també en diferents àmbits lingüístics: d'una banda, en la sociolingüística, centrant-nos en la interacció entre individus influint-se els uns als altres; d'altra banda, el desenvolupament ontogènic del llenguatge, particularment el de l'habilitat humana per a combinar mots. L'aproximació des de la complexitat produeix uns resultats interessants. Aquesta aproximació s'ha fet mitjançant estudis de xarxes, els quals mostren clarament dos fets: d'una banda, que el tipus de desenvolupament que segueix la sintaxi no és molt diferent d'altres fets observats en la natura, o en les dinàmiques socials. D'altra banda, un alt grau d'homogeneïtat quant a les fases de desenvolupament, alhora que corroboren una íntima relació entre el lèxic i la sintaxi.

El llenguatge es desenvolupa al cervell i per tant necessita nombrosos processos biològics. Sabem que la majoria de processos biològics són comuns per a molts d'organismes i que molts dels quals s'influeixen els uns als altres, de manera que se'n fa complicat el seguiment. El llenguatge té diversos elements i diverses maneres d'expressió. Se n'ha detectat l'activitat per mitjà de la neuroimatge (per exemple quan processem una oració o conjuguem un verb mentalment), i també podem enregistrar el llenguatge quan es pronuncia oralment una sèrie de paraules o per mitjà de signes. Com a capacitat mental que és, la trobem situada al cervell, però no en una sola i ben delimitada àrea, sinó en diverses zones dels dos hemisferis. Cadascuna d'aquestes àrees, encara (i per molts d'anys) objecte d'estudi, s'activen per processar diverses activitats relacionades amb la producció i percepció lingüístiques.

Considerar el llenguatge una facultat mental que es desenvolupa al cervell no vol dir que no rebi influències de l'ambient, ans al contrari, atès que l'ambient determina que el final d'un procés prengui un camí o un altre. Aquesta espiral contínua entre les bases biològiques, la seva exposició a l'ambient i les lleis físiques és el lloc ideal perquè s'esdevinguin els anomenats *sistemes complexos*. En aquest treball repassarem com la complexitat i els processos de desenvolupament no lineals afecten el llenguatge de diverses maneres i en diversos àmbits: en el procés de desenvolupament ontogènic i també en els processos socials que guien el canvi lingüístic (de vegades fins a la substitució lingüística).

## 2. SOBRE LA COMPLEXITAT DE QUALCUNS SISTEMES NATURALS

Un sistema complex és un sistema compost de parts interconnectades, el qual exhibeix una o més propietats que no són òbvies quan s'observen les parts individuals (el comportament seria una de les possibles propietats). Per tant, per a poder entendre les característiques generals d'un sistema complex, no és útil fixar-se en només uns elements, perquè es perd la visió del conjunt. D'altra banda, si el sistema complex és un conjunt organitzat, és possible detectar-hi una o més propietats emergents.

Un dels pioners en l'estudi dels sistemes complexos fou el premi Nobel Herbert Simon el qual dedicà bona part de la seva obra científica al seu estudi i a la seva definició (Simon 1962). Observà com podem trobar sistemes complexos en molts i diversos àmbits de la natura: des de les molècules fins als departaments d'una empresa. L'emergència de l'organització sol ser abrupta, seguint un procés no lineal. Els salts qualitius abruptes d'un punt a un altre s'han reconegut en diferents nivells de l'organisme. Curiosament, de vegades es poden detectar els mateixos tipus de processos d'organització a nivell molecular i a nivell del conjunt d'organismes. Simon observà que la jerarquia, que pot prendre diverses formes, és un dels factors clau en aquests tipus de sistemes. El llenguatge s'ha vist també com un sistema en què els elements mantenen entre si relacions jeràrquiques (per exemple, un verb sol representar-se com a nucli de l'oració i domina la resta d'elements). És per això que l'estudi del llenguatge com a sistema jeràrquic ha atret l'atenció d'investigadors de fora de l'àmbit de lingüístic i ha donat pas a una fructífera interacció científica.

San Miguel, Toral i Eguíluz (2005) apunten tres veritats falses, sobre els sistemes complexos, les quals s'haurien de bandejar:

- 1- Els sistemes senzills s'han de comportar de manera senzilla.
- 2- El comportament complex obeeix causes complexes.
- 3- Els sistemes diferents es comporten de manera diferent.

Un exemple ben clar és el model d'Axelrod sobre l'evolució de les cultures, en el qual a partir d'un sistema senzill es produeix una dinàmica complexa.<sup>1</sup> Veurem com això s'aplica al llenguatge, tant en el vessant més social com en el més biològic. Els autors, igual que Gomila (2011), coincideixen en el fet d'assenyalar que l'estudi dels sistemes complexos, un cop lliures d'aquestes afirmacions errades —per bé que encara es troben sovint en la literatura—, pot mostrar com emergeix l'autoorganització dels elements i com apareixen també comportaments universals. Per a aquests autors, el més important és que en certs sistemes complexos hi ha els anomenats *fenòmens crítics*, els quals són un dels aspectes dels canvis de fase. Alhora, s'observa com tots els elements d'un conjunt sembla que facin feina en la mateixa direcció, ço és, que hi ha interacció entre ells, i se suggereix un caràcter col·laborador del sistema. Aquest comportament col·laborador i interactiu, observen San Miguel, Toral i Eguíluz (2005) pot provocar un canvi observable des d'un punt de vista macroscòpic.

Ens centrarem a apuntar l'interès que té el fet que processos dinàmics que s'han trobat en altres àmbits de la natura es puguin detectar en diversos àmbits lingüístics. El llenguatge, tot i que resideix al cervell, es troba envoltat d'una teranyina social sense la qual no es podria desenvolupar de manera adequada. Als nins trobats al llarg de la història que se'ls ha privat del contacte humà durant la infantesa en són la prova. El llenguatge humà, quan pren forma fora de la ment i és seqüenciable i analitzable, és anomenat *llengua*; i cadascuna de les més de 6.000 llengües és una forma possible de llenguatge públic. Mostrarem que la dinàmica que mena les llengües quan se sotmeten a

<sup>1</sup> Vegeu l'aplicació d'aquest model que han desenvolupat els autors: [http://ifisc.uib-csic.es/research\\_topics/socio/culture.html](http://ifisc.uib-csic.es/research_topics/socio/culture.html).

l'embat sociolingüístic, és en el fons el mateix tipus de dinàmica que mena la facultat del llenguatge durant el seu desenvolupament al cervell dels infants.

### 2.1. Sobre models i xarxes

Els grafs estan composts per un conjunt finit d'elements anomenats *nodes* o *vèrtexs*. Cada node pot estar connectat amb un altre node a través d'una *aresta* o *enllaç* (per a més detalls, vegeu Ozón 2002 i Comellas & De Paula 2007). Quan dos nodes estan connectats, es diu que són veïns i no importa la distància. El grau d'un node X es calcula a partir del nombre de nodes adjacents a X. D'un graf en què tots els nodes tenen un grau igual a u (excepte un, anomenat *arrel*, el qual té enllaços amb la resta de nodes), se'n diu *graf estrella* o *arbre*.

Watts i Strogatz (1998) varen descriure xarxes regulars les quals, a partir de la introducció successiva d'alteracions, esdevenien aleatòries. Observaren que les xarxes es podien classificar basant-se en dos factors: el factor d'agregació (*clustering coeficient*) i la distància mitjana entre dos nodes d'un graf o *diàmetre* (conegut també com a *drecera* o *el camí més curt*, de l'anglès *the shortest path length*).

El coeficient d'agrupament quantifica com està de connectat el graf i se sol representar com a *C* mentre que la distància mitjana o diàmetre es representa amb *L*.

Watts i Strogatz mostren com entre les xarxes regulars inicials i les xarxes aleatòries finals hi ha estadis intermedis: les anomenades *xarxes petit-món*.

TAULA 1. Les xarxes de Watts i Strogatz (1998)

Tipus de xarxa	<i>C</i>	<i>L</i>
Regular	Elevat	Elevat
Petit-món	Elevat	Petit
Aleatòria	Petit	Petit

A més a més de les característiques esmentades, les xarxes petit-món tenen la particularitat que un nombre molt baix de nodes concentra una alta quantitat de connexions: els *hubs*. Això fa que les xarxes petit-món siguin molt robustes davant d'atacs que la malmetin de manera aleatòria, però que si un d'aquests hubs se suprimeix, aleshores la xarxa se'n ressent força, perquè molts nodes queden de cop desconnectats els uns dels altres.

Watts i Strogatz aplicaren el seu model a tres tipus de xarxa diferents: una xarxa d'actors (i les relacions entre ells basades en coaparicions en un mateix film), la xarxa elèctrica i les neurones de l'espècie *Caenorhabditis elegans* (un cuc d'un mil·límetre de llarg amb un sistema nerviós prou simple). En els tres casos el resultat fou una xarxa petit-món (grau elevat d'agrupació, però diàmetre petit). Això ha tingut una altíssima aplicabilitat i, entre altres aplicacions posteriors, hi trobem: (1) la manera com s'encomana una malaltia, (2) com s'escampen mutacions genètiques en una població, (3) la xarxa de mòbils d'un país i (4) les relacions entre agents a la borsa. Es pot dir que allà on hi hagi elements que interactuen, es pot fer un estudi de xarxes. Veurem com les xarxes petit-món s'han detectat en diversos àmbits del llenguatge.

### 3. EL LLENGUATGE, UN SISTEMA NATURAL COMPLEX

La complexitat sociolingüística s'ha analitzat també des de la física. En una sèrie de treballs, Xavier Castelló i col·laboradors han explorat la complexitat dels processos de competició entre llengües, els quals en molts de casos donen per resultat final l'extinció d'una o més llengües (Vázquez, Castelló & San Miguel 2010; Chapel et al. 2010; Castelló, Baronchelli & Loreto 2009). En aquests treballs destaca el prestigi d'una llengua, el qual crea una preferència dels individus cap a la llengua amb més prestigi. Emperò, Castelló ha mostrat la «volatilitat» dels individus com a paràmetre social crucial en la competició lingüística. De fet, els individus bilingües sumats a les interaccions de llarg abast (ço és, xarxa petit-món) fan més ràpid l'apropament a estats monolingües de caràcter absorbent, és a dir, a l'extinció lingüística.

D'altra banda, si la facultat del llenguatge és una capacitat cognitiva que es desenvolupa durant els primers anys de vida, com és aquest procés? És lineal o no lineal? El treball que s'ha fet durant anys sobre l'adquisició del llenguatge en infants ha detectat que els infants passen de l'estadi de dues paraules a un nou estadi en el qual hi ha l'anomenada *explosió sintàctica* (Lust 2006). Quan es produeix aquesta explosió, els infants esdevenen capaços de combinar moltes i diverses paraules en una sola i ordenada cadena de mots. S'ha observat que el procés no és del tot lineal. No hi ha un estadi en què totes les oracions són de tres mots, i llavors una de quatre mots, i després una de cinc mots, etc. Ans al contrari, les dades enregistrades pels investigadors demostren que de cop i volta comencen a aparèixer cadenes sintàcticament ben ordenades de cinc, set, nou mots, etc. De la mateixa manera, el nombre de paraules diferents augmenta enormement: hi trobam diversos verbs, adjectius, substantius. Corominas-Murtra i col·laboradors (2009) es qüestionaren (1) si era possible detectar patrons emergents en aquest procés de desenvolupament ontogènic del llenguatge i (2) si l'aplicació de les xarxes podia il·luminar de qualque manera aquestes qüestions. De la base de dades internacional CHILDES (MacWhinney 2000) sobre adquisició del llenguatge s'analitzaren lingüísticament dos conjunts de corpus que corresponien a dos nins que adquirien la llengua anglesa. L'anàlisi sintàctica es va fer seguint les línies bàsiques de la gramàtica de dependències (Hudson 1990), d'acord amb la qual s'explicita quina és la relació de dependència entre mots. Per exemple, un substantiu depèn sintàcticament d'un verb. Cada conjunt de corpus era un conjunt d'enregistraments, i cadascun dels enregistraments es va fer seguint més o manco la mateixa distància temporal (per exemple, cada quinze dies). D'aquesta manera s'analitzava una mostra de la capacitat de producció de l'infant. El total cobria pràcticament un any, entre el segon i tercer any de vida (que és el període durant el qual es produeix l'explosió sintàctica). Això va generar, per a cada corpus, un conjunt de cadenes sintàctiques. Totes aquestes cadenes foren interpretades per un programa creador de xarxes. El programa (Shannon et al. 2003) interpretava cada paraula com un node, i cada relació sintàctica com un enllaç entre nodes. El resultat és que de cada corpus es varen obtenir una sèrie de xarxes. Recordem que les xarxes poden ser d'un o més nodes. Moltes paraules aïllades quedaren com a xarxes d'un node. No debades parlem d'un infant, el qual de vegades parloteja fent ben difícil la tasca d'identificació i anàlisi. També s'obtingueren diverses xarxes més petites en cada cas, i entre aquestes en sobresurt una de més gran.

Un cop s'ha obtingut un conjunt de xarxes que mantenen entre elles una relació temporal, allò interessant és observar si hi ha hagut canvis en l'estructura i trets de la xarxa. Així, si un conjunt contenia deu sessions enregistrades, de cada sessió es va fer una anàlisi de xarxes. Quan es va fer el seguiment longitudinal, els investigadors varen veure que una de les xarxes anava creixent cada vegada més, alhora que les xarxes petites i

separades anaven desapareixent. Aquesta xarxa que destaca i que va fent-se cada vegada més gran, és l'anomenat *Component Gegant* (CG). Aquesta és la xarxa que ens interessa més, tot i que també és important el fet que les xarxes intermèdies desapareixen a mesura que la CG creix. Una lectura que sembla que és prou encertada és que a mesura que es va desenvolupant la facultat del llenguatge en l'infant, les connexions entre paraules estan més ben fetes —ço és, de manera més consistent i de manera més semblant a l'input original dels adults. Corominas-Murtra i col·laboradors (2009) varen estudiar els trets estructurals de la CG. A mesura que avança el temps, la CG té més nodes (mots) connectats entre ells per mitjà d'enllaços (relacions sintàctiques). A l'inici, aquest creixement és lineal: més o manco hi trobem el mateix nombre de mots que d'enllaços. La xarxa es pot dir que, inicialment, és de tipus arbre, com s'ha descrit més amunt. Aquesta és una estructura simple, amb poques connexions entre els nodes. Emperò, això canvia de manera abrupta en un moment determinat de l'estudi: (1) el nombre de mots i d'enllaços creix de manera no paral·lela, (2) el creixement és no lineal, (3) la xarxa passa de ser de tipus arbre a ser una xarxa petit-món amb invariància d'escala. Hi destaca que, quan es produeix el canvi de tipus de xarxa, el nombre de connexions sintàctiques creix més ràpid, fins al punt de doblar el nombre de mots.

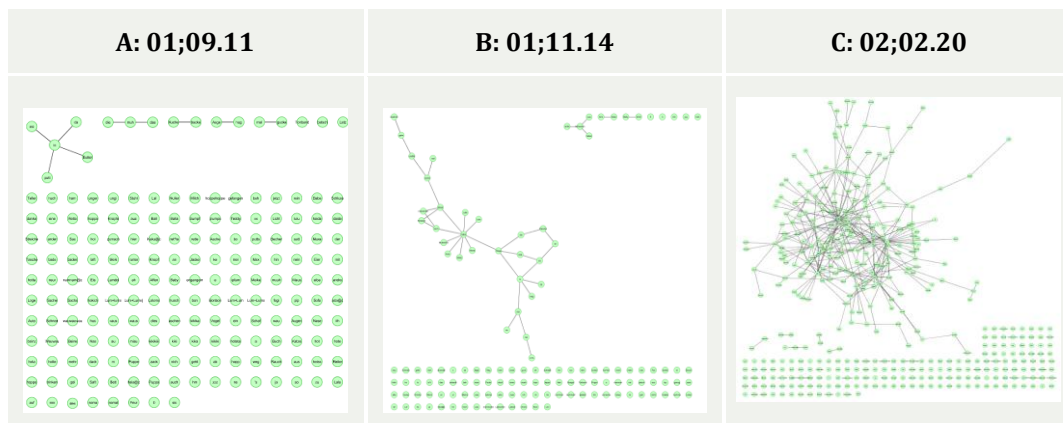
Curiosament, els nodes més connectats, els anomenats *hubs*, són sempre *mots funcionals* (per exemple, articles, demostratius, pronoms), els quals tenen informació sintàctica rellevant, però semànticament difereixen força de substantius o adjectius.

Com que un sol estudi amb un sola llengua no és prou per a fer grans conclusions (els resultats podrien ser per mor de les especificitats de l'anglès), Barceló-Coblijn, Corominas-Murtra i Gomila (2012) dugueren a terme una altra anàlisi, seguint exactament la mateixa metodologia, però aquesta vegada analitzant-hi tres corpus d'infants.<sup>2</sup> Cada infant adquiria una primera llengua diferent: o neerlandès, o alemany o castellà. Els resultats foren els mateixos que en el treball sobre l'anglès. Els tres corpus nous mostraren els mateixos patrons de desenvolupament de les xarxes sintàctiques, en períodes semblants i també amb transicions abruptes entre els tipus de xarxes (figura 1). A l'inici, en les tres llengües, les xarxes eren tipus arbre i després passen a ser xarxes petit-món amb invariància d'escala. En les tres llengües els hubs són mots funcionals. En les quatre llengües l'emergència d'aquest tipus de mots és tardana i el creixement del nombre d'enllaços que tenen és no lineal, força abrupte.

Sí que es detecten petites diferències entre llengües que són fàcilment atribuïbles a particularitats de cada llengua. Per exemple, la morfologia de l'anglès és molt més pobra que la de l'alemany. Aleshores això es reflecteix en un creixement més sobtat dels hubs en anglès (el qual té dos articles —determinat i indeterminat—, mentre que l'alemany, que també té aquests dos tipus, té tres gèneres, amb l'afegitó dels casos de la declinació). En aquest respecte, el castellà s'assembla més a l'alemany, precisament per la riquesa de la morfologia (dos gèneres amb formes diferents per al plural, el pronom *lo* neutre o els tres tipus de demostratius).

<sup>2</sup> El protocol seguit el trobareu descrit a Corominas-Murtra (2007).

FIGURA 1. Xarxes sintàctiques



Dades extretes de Barceló-Coblijn (2012). Tres estadis temporals A, B i C (l'edat s'ha de llegir «anys;mesos.dies»), representant el potencial de combinació de mots d'un infant que adquireix l'alemany (corpus Simone). A l'esquerra (A) es veu que la xarxa més gran és de tipus arbre. Dos mesos més tard (B) la xarxa és més gran, però encara molt allargada. Tres mesos més tard (C) observem una xarxa petit-món amb invariància d'escala.

Hem de tenir en compte que aquests grafs ens donen una imatge d'allò que s'ha enregistrat en una sessió amb l'infant. Probablement, l'infant sigui capaç de fer més (és a dir, que segurament coneix més lèxic que no pas el que apareix a l'enregistrament). És ben sabuda la diferència entre comprensió i producció, amb la qual cosa el nivell de la primera sempre és més notable. Per tant, aquesta «fotografia» que hem obtingut és probablement conservadora respecte de la facultat de llenguatge de l'infant en aquells moments. Nogensmenys, és interessant que cinc infants segueixin els mateixos patrons de desenvolupament respecte de la seva habilitat per combinar mots sintàcticament, sense que les diferències lingüístiques hi intervinguin de manera crucial.

#### 4. CONCLUSIONS

La complexitat del llenguatge es pot observar en diferents àmbits de la natura i també en diferents àmbits lingüístics. Un n'és el sociolingüístic, on els individus d'un grup interaccionen entre ells, influint-se els uns als altres, provocant el canvi lingüístic i fins i tot, en alguns casos, la substitució lingüística. Un altre aspecte del llenguatge, el seu desenvolupament ontogènic, també s'ha abordat des de la complexitat amb resultats interessants. Els estudis de xarxes mostren, d'una banda, que el tipus de desenvolupament que segueix la sintaxi no és molt diferent d'altres fets observats en la natura, o en les dinàmiques socials. D'altra banda, els estudis amb xarxes mostren un alt grau d'homogeneïtat quant a les fases de desenvolupament, alhora que corroboren una íntima relació entre el lèxic i la sintaxi.

Aquest treball ha rebut el suport del projecte FFI2009-13416-C02-01. Agraïm l'esforç de dos revisors anònims que han ajudat a millorar aquest treball.

## 5. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- BARCELÓ-COBLIJN, LLUÍS; COROMINAS-MURTRA, BERNAT; GOMILA, ANTONI (2012). «Syntactic trees and small-world networks: syntactic development as a dynamical process». *Adaptive Behavior*, 20(6), 427-442.
- BARCELÓ-COBLIJN, LLUÍS (2012). *Neandertals. Per què podrien haver parlat i per què no?* Tesi doctoral europea, Departament de Biologia Fonamental i Ciències de la Salut, Universitat de les Illes Balears.  
<<http://www.tesisenred.net/handle/10803/80068>> [Consulta: 19 febrer 2013].
- CHAPEL, LAETITIA; XAVIER CASTELLÓ; CLAIRE BERNARD, GUILLAUME DEFFUANT; VÍCTOR M. EGUÍLUZ; SOPHIE MARTIN; MAXI SAN MIGUEL (2010). «Viability and Resilience of Languages in Competition», *PLoS ONE*, 5(1), e8681.
- CASTELLÓ, XAVIER; ANDREA BARONCHELLI; VITTORIO LORETO (2009). «Consensus and ordering in language dynamics», *European Physical Journal B*, 71, 557-564.
- COMELLAS PADRÓ, FRANCESC DE PAULA (2007). «Models deterministes de xarxes complexes». *Butlletí de la Societat Catalana de Matemàtiques*, 22(1), 23-44.
- COROMINAS-MURTRA, BERNAT; VALVERDE, SERGI; SOLÉ, RICARD V. (2009). «The ontogeny of scale-free syntax networks: Phase transitions in early language acquisition». *Advances in Complex Systems (ACS)*, 12, 371-392.
- COROMINAS-MURTRA, BERNAT (2007). «Network statistics on early English syntax: Structural criteria».  
<<http://arxiv.org/abs/0704.3708>> [Consulta: 19 febrer 2013].
- GOMILA BENEJAM, ANTONI (2011). «Emergencia y explicación en sistemas complejos: el caso de la acción social». PÉREZ CHICO, DAVID & RODRÍGUEZ SUÁREZ, LUISA PAZ (eds.). *Explicar y comprender*, Murcia: Plaza y Valdés España, 343-368.
- HUDSON, RICHARD A. (1990). *English word grammar*. Oxford: Blackwell.
- LUST, BARBARA (2006). *Child language. Acquisition and growth*. Cambridge: Cambridge University Press.
- MACWHINNEY, BRIAN (2000). «The CHILDES Project: Tools for analyzing talk». Third Edition. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- OZÓN, JAVIER (2002). «Universalitat de les xarxes petit-món». *Butlletí de la Societat Catalana de Matemàtiques*, 17(2), 29-50.
- SAN MIGUEL, MAXI; TORAL, RAÚL; EGUÍLUZ, VÍCTOR M. (2005). «Redes complejas en la dinámica social». *Inguruak: Soziologia eta zientzia politikoaren euskal aldizkaria = Revista vasca de sociología y ciencia política*, 42, 127-145.
- SHANNON, PAUL; MARKIEL, ANDREW; OZIER, OWEN; BALIGA, NITIN S.; WANG, JONATHAN T.; RAMAGE, DANIEL; AMIN, NADA; SCHWIKOWSKI, BENNO; IDEKER, TREY (2003). Cytoscape: A software environment for integrated models of biomolecular interaction networks. *Genome Research*, 13, 2498-2504.
- SIMON, HERBERT (1962). «The architecture of complexity: hierarchical systems». H. SIMON (1982). *The sciences of the Artificial*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 183-216.
- VÁZQUEZ, FEDERICO; CASTELLÓ, XAVIER; SAN MIGUEL, MAXI (2010). «Agent Based Models of Language Competition: Macroscopic descriptions and Order-Disorder transitions», *Journal of Statistical Mechanics*, P04007.
- WATTS, DUNCAN J.; STROGATZ, STEVEN H. (1998). «Collective dynamics of small-world networks». *Nature*, 393, 440-442.