

Recerca

Prospectiva de la llengua a Catalunya. Simulació amb autòmats cel·lulars

Autors

Francesc Salvador Beltran
Salvador Herrando
Universitat de Barcelona

Doris Ferreres
Violant Estreder
Universitat de València

Marc-Antoni Adell
Societat Valenciana de Psicologia

Marc Ruiz-Soler
Universitat de Màlaga

L'article aborda l'aplicació d'eines informàtiques de simulació en l'àmbit psicosocial a la situació de la llengua a Catalunya per extreure'n escenaris de futur. En primer lloc, s'aborda el context metodològic de la simulació social amb autòmats cel·lulars. En segon lloc, s'aplica el mètode i el sistema als resultats de l'Enquesta d'usos lingüístics de la població 2008 i se n'extreuen resultats. Finalment, s'apunten unes conclusions.

Introducció

Un dels elements clau en sociolingüística és la capacitat de predir les tendències de futur. No obstant això, com en totes les ciències socials aquesta no és pas una tasca fàcil, atès que ben sovint els models predictius arrossegueu uns marges d'error prou significatius perquè les prediccions esdevinguin imprecises.¹ Darrerament, però, l'aplicació d'algunes eines informàtiques adreçades a la simulació en l'àmbit psicosocial, com ara la teoria d'autòmats cel·lulars, ha afavorit un avenç en aquest camp. Pensem que l'aplicació d'aquesta eina a la situació lingüística de Catalunya permetrà efectuar una anàlisi prospectiva amb les dades actuals i, a partir d'aquesta, obtenir informació valuosa per ajudar a dissenyar les subsegüents polítiques de planificació lingüística. Descriurem breument l'estructura i funcionament d'un autòmat cel·lular, presentarem un model que descriu la dinàmica dels parlants de dues llengües que es troben en contacte i efectuarem unes simulacions del model emprant dades de la darrera *Enquesta d'usos lingüístics de la població*, encarregada per l'aleshores Secretaria de Política Lingüística de la Generalitat de Catalunya. Finalment, sobre la base dels resultats de la simulació, proposarem algunes conclusions i futures línies de treball.

Simulació social amb autòmats cel·lulars

Si bé la simulació informàtica ha estat emprada com a eina de recerca des de fa força temps en ciències socials, la incorporació els darrers anys de noves eines, com els autòmats cel·lulars (Hegselmann, 1996; Hegselmann i Flache, 1998; Nowak i Lewenstein, 1996) ha permès que aquesta prengui nova embranzida i amplii el seu interès a noves àrees d'estudi (Gilbert, 1996, 2007; Goldspink, 2002). Una d'aquestes, creiem, és la recerca sociolingüística. Comencem, però, per definir, malgrat sigui de manera molt sintètica, què és un autòmat cel·lular.

1. Aquesta recerca ha estat finançada, en part, per la Direcció General de Recerca de la Generalitat de Catalunya (2009SGR-1492). Per a qualsevol comentari en referència al contingut de l'article, cal adreçar-se al primer autor: Francesc Salvador Beltran, Grup de Conducta Adaptativa i Interacció, Departament de Metodologia de les Ciències del Comportament, Universitat de Barcelona, Campus Mundet, 08035 Barcelona.

Els autòmats cel·lulars són entitats formals constituïdes per un conjunt d'elements discrets, anomenats cel·les o caselles, que canvien en el temps. En cada unitat de temps cada casella pot adoptar un sol estat entre un conjunt d'estats possibles. Així, per exemple, un autòmat cel·lular de dues dimensions seria similar a un full quadriculat, on cada casella del full només pot trobar-se en un dels dos estats possibles, o bé blanc o bé negre. En un autòmat cel·lular cada casella es troba connectada amb algunes de les caselles que l'envolten, que hom anomena *veïnatge de la casella*. Per exemple, pot determinar-se que el veïnatge d'una casella siguin les caselles immediatament contigües per costat i per vèrtex, de manera que cada casella de l'autòmat estaria connectada a les vuit caselles que l'envolten. Altrament, els autòmats cel·lulars són entitats dinàmiques, per això les caselles canvien d'estat d'una unitat de temps a una altra (en l'exemple precedent les caselles canviarien de blanc a negre, i a l'inrevés). El canvi d'estat de les caselles es regeix per unes regles que es basen en l'estat en què es troben les caselles del veïnatge i l'estat de la pròpia casella. Per exemple, podem definir una regla segons la qual si una casella es troba en estat *blanc* esdevindrà en estat *negre* en la unitat de temps següent si la meitat de les vuit caselles del seu veïnatge es troben en estat *negre*.

El nombre de caselles, els estats possibles, la mida i la forma del veïnatge i les regles per canviar d'estat caracteritzen un determinat autòmat cel·lular (més endavant mostrarem les característiques de l'autòmat cel·lular que farem servir en les nostres simulacions). Les regles que regulen el canvi d'estat de les caselles poden ser força simples, com la regla de l'exemple que just acabem d'indicar, però en aplicar-les a totes les caselles de l'autòmat poden produir fenòmens globals força complexos i inesperats. Fenòmens que la simulació permet posar en relleu, perquè si coneixem els estats de les caselles en el moment de començar la simulació i coneixem les regles que en regulen la dinàmica, podem conèixer els estats futurs de les caselles.

La supervivència del català ha estat (i és encara) tema d'aferrissat debat, tant entre els acadèmics com entre el públic en general (vegeu, per exemple, Junyent, 1999; o Prats i Rossich, 1995). Una eina que ens permeti fer prospectiva de futur a partir de la situació inicial de l'ús del català ens ajudaria força a ressituar el debat, i no només en termes absoluts de supervivència o desaparició de la llengua, sinó també en termes d'evolució en la distribució i característiques dels parlants. Un enfocament basat en els autòmats cel·lulars pot ser força útil per a aquesta tasca.

Un model de substitució lingüística basat en la conducta dels parlants

En el camp de la psicologia social, Latané (1981) proposa que les opinions dels individus canvien per la influència social que reben d'altres individus del grup al qual pertanyen. En concret, proposa que l'impacte social (i), o influència del grup sobre un individu, és el producte de tres factors: la força amb què s'exerceix la pressió sobre l'individu (S), la immediatesa física dels membres del grup que fan la pressió (I) i el nombre de membres del grup que pressionen (N); és a dir, $i = f(S \cdot I \cdot N)$. La teoria de l'impacte social de Latané no tan sols ha estat comprovada empíricament (Jackson i Latané, 1981; Latané, Liu, Nowak, Benevent i Zheng, 1995; Latané i Wolf, 1981), sinó que també la seva dinàmica es va estudiar utilitzant simulació basada en autòmats cel·lulars (Latané, 1996; Latané, Nowak i Liu, 1994; Nowak, Szamrez i Latané, 1990).

Nosaltres proposem que, en referència a la influència que rep del grup, la conducta lingüística d'un individu segueix les mateixes pautes que les opinions i actituds i , per tant, s'ajusta a les característiques definides per la teoria de l'impacte social de Latané. És a dir, una persona tendirà a canviar de llengua si rep una forta pressió dels individus del seu entorn immediat i si aquesta pressió prové d'un nombre considerable d'individus.

D'acord amb les premisses de la teoria de l'impacte social, establim un model de substitució lingüística. Suposem una comunitat on conviuen dues llengües jerarquitzades, una de les quals és la llengua dominant (LD) i l'altra la llengua subordinada (LS). Com que hi ha una estructura jeràrquica en l'ús de les llengües, en general la població coneix la LD, però només una fracció de la població coneix la LS. Així, és possible trobar en aquesta comunitat un determinat percentatge de monolingües en la LD, però no de monolingües en la LS. Podem, llavors, categoritzar la conducta lingüística dels individus de la comunitat en tres grans grups:

- Monolingüe: l'individu només parla la LD.
- Bilingüe amb preferència per la LD: l'individu habitualment parla la LD, però també parla la LS segons el context de comunicació. L'individu transmet la LD als fills.
- Bilingüe amb preferència per la LS: l'individu habitualment parla la LS, però també parla la LD, segons el context de comunicació. L'individu transmet la LS als fills.

Traduïm les característiques d'aquesta societat a un model d'autòmats cel·lulars. La conducta lingüística de cada individu quedaria representada per una casella de l'autòmat que es pot trobar en algun dels tres estats que vénen definits per les tres conductes lingüístiques possibles de la nostra comunitat. Segons hem indicat, la teoria de l'impacte social determina que la influència social d'un grup sobre un individu és el producte de la força exercida, de la immediatesa física i del nombre de membres del grup que influeixen sobre l'individu. Així, assignarem un nombre a cadascun dels estats de la nostra comunitat hipotètica: a l'estat monolingüe li assignem 0, a l'estat bilingüe amb preferència per la LD li assignem 1 i a l'estat bilingüe amb preferència per la LS li assignem 2; en què el nombre de cada estat indica el nivell d'implicació amb la LS, d'un ús nul (0) a l'ús preferencial (2). Com que no hi ha cap restricció perquè un individu interaccioni amb qualsevol altre, definim el veïnatge com les caselles contigües per costat i vèrtex, i així cada casella queda connectada a les vuit caselles que l'envolten. El nombre total de caselles que formen l'autòmat és de 6.720, distribuïdes en un espai bidimensional de 105 x 64 caselles.

La teoria de l'impacte social també estableix que els mateixos factors esmentats més amunt expliquen el suport social dels qui comparteixen una mateixa opinió (Nowak, Szamrez i Latané, 1990). Per això, en l'autòmat l'estat futur de cada casella en la següent unitat de temps queda determinat per una regla de transició segons la qual la suma del valor dels estats de les caselles del veïnatge, incloent-hi la pròpia casella, ha de superar o no un determinat valor llindar. La suma de valors de les caselles del veïnatge indica la pressió sobre la casella de referència per canviar de llengua (com més petit sigui el valor suma, més pressió hi haurà per canviar de la LS a la LD), mentre que el valor del llindar indica la resistència de l'individu a canviar de llengua (un llindar més petit representa més resistència a canviar de la LS a la LD). Si la suma del veïnatge proporciona un valor petit, hi ha bastants caselles del veïnatge en estat 0 o estat 1, però si la suma proporciona un valor alt, hi ha moltes caselles del veïnatge en estat 2. En el primer cas, l'individu bilingüe amb predomini de la LS té poques possibilitats d'usar la LS amb els seus veïns. El valor del llindar indica fins a quin punt aquest individu és capaç de mantenir l'ús de la LS, malgrat que hi hagi pocs individus en el seu veïnatge amb tendència a fer-ne ús. Si el valor del llindar és baix, l'individu manté l'ús de la LS fins i tot en un context on la presència d'aquesta és clarament minoritària. En termes de l'autòmat, un llindar baix permet que una casella en estat 2 romangui en aquest estat en unitats de temps futures, malgrat que el sumatori del veïnatge proporcionï un valor baix; però un llindar alt necessita que el sumatori del veïnatge proporcionï un valor alt (moltes caselles en estat 2 i 1) perquè la casella romangui en estat 2 en les unitats de temps futures. La taula 1 mostra la regla de transició completa que hem definit en el nostre autòmat cel·lular, i la figura 1 mostra un exemple del seu funcionament.

Taula 1. Regla de transició que indica l'estat en què es trobarà cada casella en una unitat de temps futura si supera uns llindars prefixats (S_a , S_b i S_c) un cop sumats els valors dels estats de les caselles veïnes (Σ).

		A l'estat:		
		0	1	2
De l'estat:	0	$\leq S_b$	$> S_b$	----
	1	$< S_b$	$S_b \leq \leq S_c$	$> S_c$
	2	$\leq S_a$	$S_a < < S_b$	$\geq S_b$

$S_a = 10$, $S_b = 3$ i $S_c = 12$

$t=0$

$a_{i-1,j-1}$ 0	$a_{i,j}$ 1	$a_{i,j+1}$ 0
$a_{i,j-1}$ 1	$a_{i,j}$ 2	$a_{i,j+1}$ 2
$a_{i+1,j-1}$ 1	$a_{i+1,j}$ 0	$a_{i+1,j+1}$ 1

Com $0 + 1 + 0 + 1 + 2 + 2 + 1 + 0 + 1 = 8$

		A l'estat		
		0	1	2
De l'estat:	0	$\Sigma \leq S_b$	$\Sigma > S_b$	----
	1	$\Sigma < S_b$	$S_b < \Sigma < S_c$	$\Sigma > S_c$
	2	$\Sigma \leq S_a$	$3 \leq 8 \leq 10$	$\Sigma \geq S_b$

⇒ En $t=1$ la casella $a_{i,j}$ pren l'estat 1

$t=1$

$a_{i-1,j-1}$	$a_{i,j}$ 1	$a_{i,j+1}$
$a_{i,j-1}$	$a_{i,j}$ 1	$a_{i,j+1}$
$a_{i+1,j-1}$	$a_{i+1,j}$	$a_{i+1,j+1}$

$a_{i-1,j-1}$, $a_{i-1,j}$, $a_{i-1,j+1}$, $a_{i,j-1}$, $a_{i,j+1}$, $a_{i+1,j-1}$, $a_{i+1,j}$ i $a_{i+1,j+1}$ també hauran canviat els seus valors en $t=1$

Figura 1. Exemple de funcionament de la regla de transició de l'autòmat cel·lular que hem definit per simular processos de substitució lingüística.

Per efectuar les simulacions, l'autòmat cel·lular es va implementar en un full de càlcul Microsoft® Excel 2007. En el programa, el primer full mostra les caselles i els seus estats en cada unitat de temps. Aquest primer full també mostra la freqüència dels estats en cada unitat de temps, que s'actualitza en cada unitat de temps mentre s'executa la simulació. Un segon full permet a l'usuari definir el nombre de caselles de cada estat en iniciar-se la simulació, els valors dels llindars (S_a , S_b i S_c) i el nombre de vegades que es vol repetir la simulació. Finalment, un tercer full proporciona tota la distribució de les freqüències dels estats fins que l'autòmat s'estabilitza (no canvia l'estat de cap casella) per a cadascuna de les rèpliques sol·licitades.²

2. Els macros d'Excel utilitzats per definir l'autòmat (Multislac_8b) van ser creats per Salvador Herrando, del Grup de Recerca en Conducta Adaptativa i Interacció de la Universitat de Barcelona. Els macros i les instruccions de funcionament es poden obtenir de franc a l'adreça web www.ub.edu/gcai (aneu a l'opció Downloads del menú principal).

Simulació amb dades de l'Enquesta d'usos lingüístics de la població 2008

En estudis anteriors vam provar l'autòmat cel·lular amb dades de l'enquesta sociolingüística dirigida per Ninyoles al País Valencià (Ninyoles, 2005). Les simulacions van mostrar que l'autòmat era més sensible a les variacions del llindar S_b comparat amb els llindars S_a i S_c : per a uns valors de freqüència d'estat a l'inici de la simulació, el valor de llindar S_b esdevenia crític per explicar la dinàmica de la simulació. Així, els resultats van mostrar que per a uns nivells d'ús del català (la LS) el manteniment de la llengua (representat pels valors del llindar) esdevé crític per a la seva supervivència (Salvador Beltran *et al.*, 2009, 2010).

En aquest treball hem utilitzat dades empíriques de l'Enquesta d'usos lingüístics de la població (Idescat, 2008). Les dades de l'enquesta es van recollir el 2008 d'una mostra de 7.140 persones més grans de 15 anys sobre l'ús del català amb relació a diferents variables com ara l'edat, sexe, nivell educatiu, lloc de residència, etc. Vam escollir les dades de l'enquesta que feien referència a l'ús del català en quatre àmbits d'ús de la llengua: membres de la llar, amitats, petit comerç i gran comerç (vegeu la taula 2). Els percentatges per a l'ús del català obtinguts en l'enquesta ens van proporcionar el nombre de caselles per a cada estat a l'inici de la simulació. Així, els percentatges que corresponen a "Només castellà" i "Més castellà que català" es van assignar a l'estat 0, el percentatge de "Totes dues" es va assignar a l'estat 1, i els percentatges de "Més català que castellà" i "Només català", a l'estat 2. El percentatge dels estats obtingut després de la conversió es mostren a la taula 3.

	Només català	Més català que castellà	Totes dues	Més castellà que català	Només castellà	Altres / No respon
Àmbit d'ús						
Membres de la llar	31,6	3,6	8,3	6	42,6	7,9
Amics	22,5	10,8	16,8	9	33,9	7,1
Petit comerç	28,7	11	14,9	7,5	36	1,9
Gran comerç	23,9	9,9	15,5	9,5	39,4	1,8

Taula 2. Percentatge d'ús del català en quatre àmbits d'ús de la llengua. Les dades es van obtenir de l'Enquesta d'usos lingüístics de la població 2008 a partir d'una mostra de 7.140 persones més grans de 15 anys (Idescat, 2008).

Vam efectuar dos estudis de simulació. El primer tenia l'objectiu d'esbrinar si l'evolució del nombre de parlants de la LS (estats 1 i 2 de l'autòmat) depèn del fet que un parlant de la LS estigui disposat a canviar de la LS a la LD (el llindar S_b) quan hi ha una determinada pressió de la LD al voltant seu (el sumatori del valor dels estats de les caselles veïnes). Vam variar els valors del llindar S_b (4, 5, 6, 7, 8, 9 i 10) i, segons els percentatges obtinguts a la taula 3, vam definir el nombre d'estats a l'inici de la simulació en els quatre contextos d'ús de la llengua que havíem triat per a l'estudi, i vam obtenir un total de 28 condicions diferents de simulació. De cada condició vam fer 200 rèpliques i vam registrar el nombre d'estats quan l'autòmat s'estabilitza, és a dir, quan l'aplicació de la regla de transició no produeix canvis d'estat en cap casella. A l'inici de cada simulació els estats es distribuïen de manera aleatòria.

Taula 3. Percentatge d'ús del català en quatre àmbits d'ús de la llengua. Les dades es van obtenir de l'Enquesta d'usos lingüístics de la població 2008 a partir d'una mostra de 7.140 persones més grans de 15 anys (Idescat, 2008).

Estat de l'autòmat	Membres de la llar	Amics	Petit comerç	Gran comerç
Estat 2	35,2	33,3	39,7	33,8
Estat 1	14,3	25,8	22,4	25
Estat 0	42,6	33,9	36,0	39,4

Els resultats del primer estudi mostren que, en tots els àmbits d'ús de la llengua, per sota d'un determinat valor del llindar ($S_b \leq 6$), l'estat 0 desapareix i la LS es manté; però per sobre d'un determinat valor ($S_b \geq 9$) desapareixen els estats 1 i 2, i la SL esdevé extinta (vegeu la figura 2). Com havíem trobat en treballs anteriors, amb un determinat percentatge d'estats quan s'inicia la simulació el valor del llindar esdevé clau per mantenir o extingir la LS (Salvador Beltran *et al.*, 2009, 2010). Els resultats, a més, mostren que el canvi de valors del llindar produeix un efecte de tot o res en el manteniment o extinció de la LS: fins a un determinat valor del llindar ($S_b = 7$ o $S_b = 8$, segons l'àmbit d'ús de la llengua), la LS es manté, mentre que per sobre d'un determinat valor del llindar la LS s'extingeix. La causa que la LS es mantingui s'il·lustra clarament amb l'exemple de la figura 3. Amb un llindar baix, l'estat 0 pràcticament desapareix, però l'estat 2 manté el mateix percentatge que tenia a l'inici de la simulació. El transvasament d'estats es produeix entre l'estat 0 i l'estat 1, és a dir, els monolingües en LD esdevenen bilingües i, per tant, la LS es manté. Per contra, amb un llindar alt desapareixen els estats 1 i 2, de manera que tota la població esdevé monolingüe de la LD.

Figura 2. Percentatges de l'estat 0 (línia contínua), de l'estat 1 (línia discontinua) i de l'estat 2 (línia de punts) per a cada valor del llindar S_b quan l'autòmat cel·lular s'estabilitza (valors de $S_b = 4$ a 10) per a cada àmbit d'ús de la llengua. Cada gràfica inclou també el percentatge d'estats a l'inici de la simulació ($t = 0$).

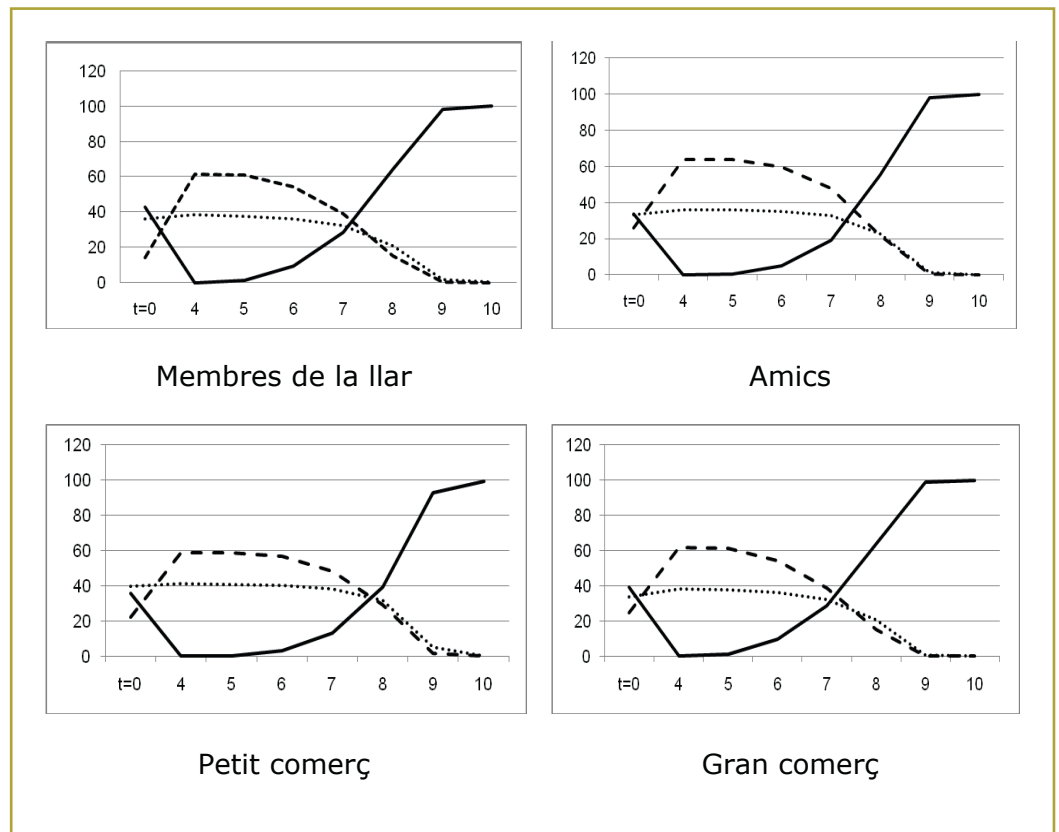
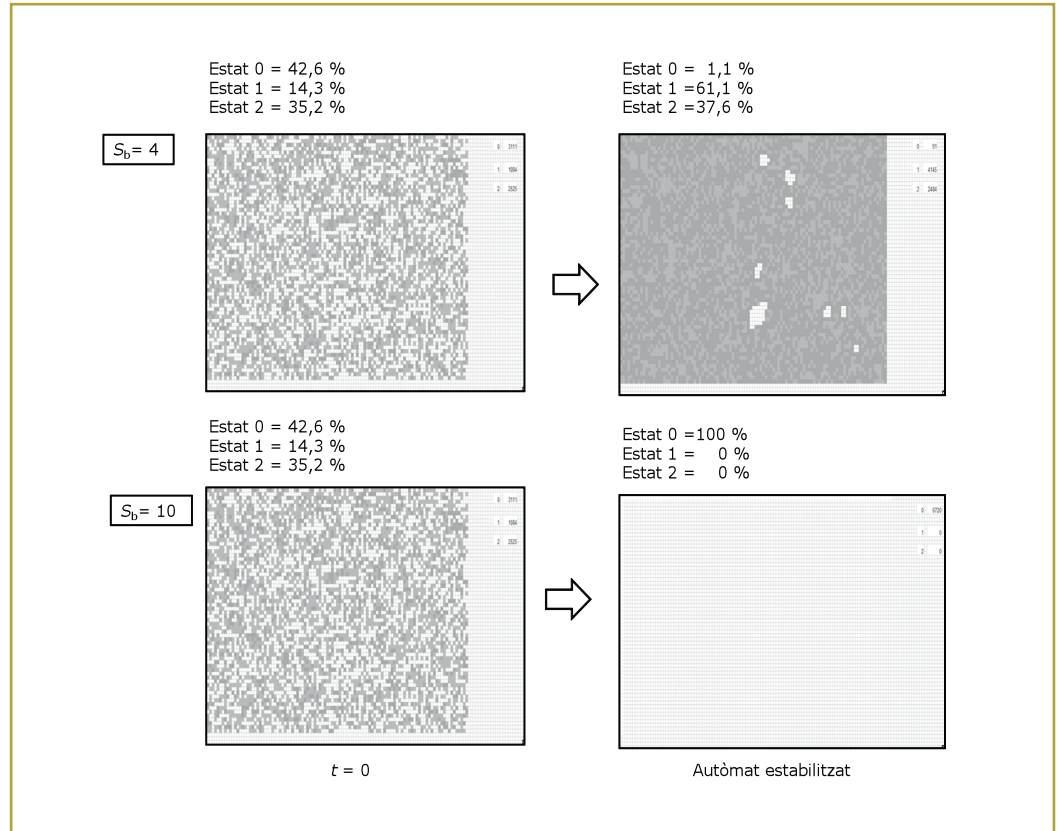


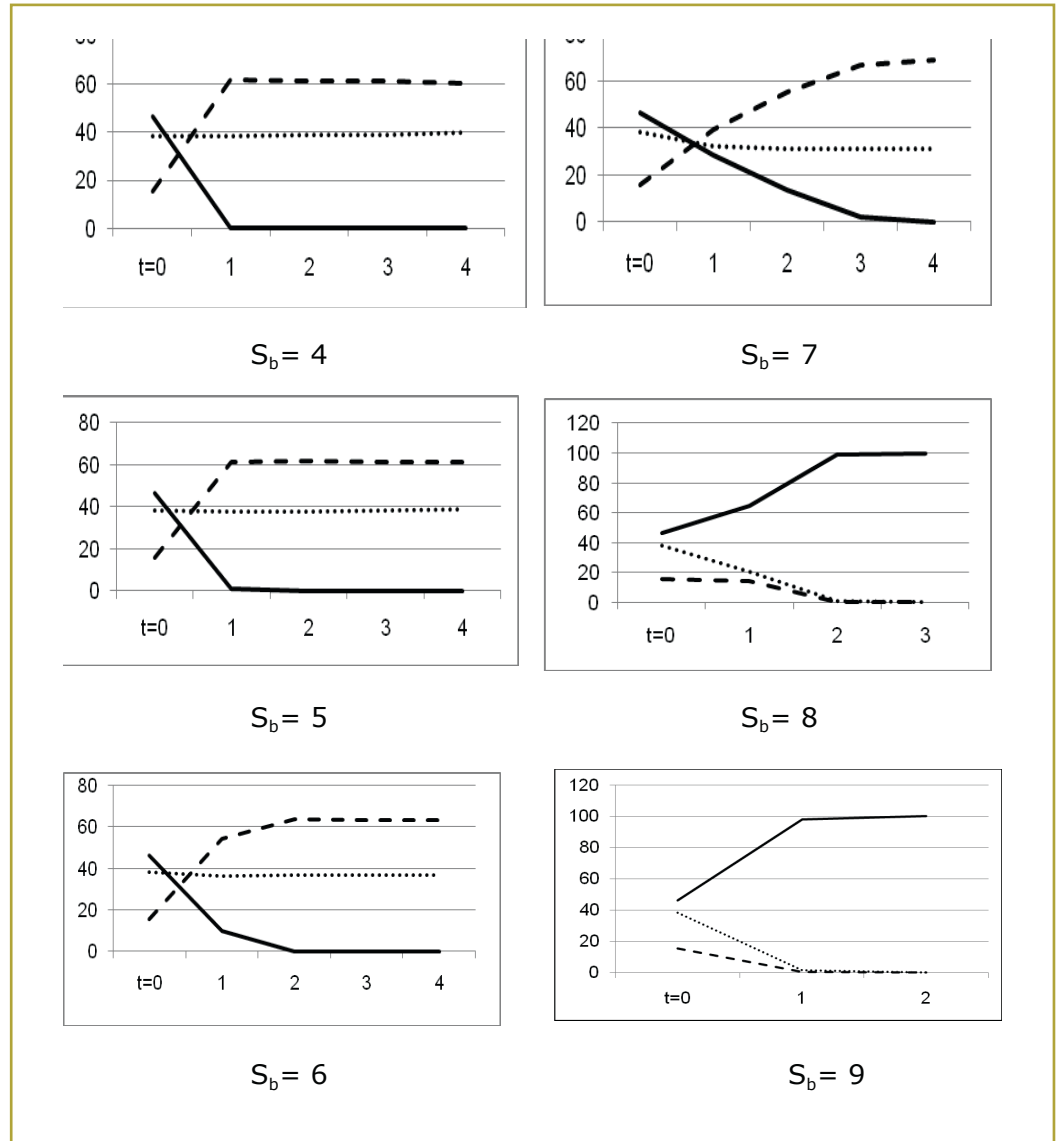
Figura 3. Exemple de la dinàmica de l'autòmat cel·lular des que s'inicia la simulació ($t = 0$) fins que l'autòmat s'estabilitza. El percentatge d'estats en començar la simulació es manté constant i varia el llindar ($S_b = 4$ i $S_b = 10$). Amb el valor de llindar baix la LS es manté, mentre que amb el valor de llindar alt desapareix. Els estats es mostren en nivells de gris: blanc per a l'estat 0, gris clar per a l'estat 1 i gris fosc per a l'estat 2. Els percentatges d'estat en començar la simulació han estat obtinguts de les dades de l'Enquesta d'usos lingüístics de la població (Idescat, 2008), que corresponen a l'àmbit d'ús de la llengua "Membres de la llar".



El segon estudi de simulació tenia l'objectiu de comprovar si el manteniment de la LS que s'assolia amb llindars baixos romandria per a diferents generacions de parlants. Vam plantejar una rèplica del primer estudi de simulació per a l'àmbit d'ús de la llengua "Membres de la llar", però els percentatges d'estats que s'obtenien quan l'autòmat s'estabilitzava s'usaven per proporcionar els valors inicials a l'autòmat en una nova simulació; i així successivament quatre vegades, emulant el pas de quatre generacions de parlants. Vam variar els valors del llindar S_b (4, 5, 6, 7, 8 i 9) i vam definir el nombre d'estats a l'inici de la simulació en l'àmbit d'ús "Membres de la llar" d'acord amb els percentatges de la taula 3. De cadascuna de les sis condicions de simulació vam fer 200 rèpliques i vam registrar el nombre d'estats quan l'autòmat s'estabilitza. Igual que al primer estudi de simulació, a l'inici de cada simulació els estats es distribuïen de manera aleatòria.

Els resultats del segon estudi de simulació mostren que l'efecte de manteniment o extinció de la LS roman constant en quatre generacions de parlants (vegeu la figura 4). Igual com succeïa al primer estudi de simulació, amb valors baixos del llindar la LS es manté i amb valors alts desapareix. En aquest darrer cas, en dues o tres generacions es prediu una extinció ràpida de la LS quan s'inicia el procés de substitució lingüística.

Figura 4. Percentatges de l'estat 0 (línia contínua), de l'estat 1 (línia discontinua) i de l'estat 2 (línia de punts) per a cada generació en l'àmbit d'ús de la llengua «Membres de la llar» quan l'autòmat cel·lular s'estabilitza. Els valor del llindar S_b varien de 4 a 9. Cada gràfica inclou també el percentatge d'estats a l'inici de la simulació ($t = 0$).



Conclusions

Els estudis de simulació amb l'autòmat cel·lular mostren que els valors finals dels estats depenen de la conducta lingüística dels parlants, és a dir, si canvien o no de la LS a la LD quan hi ha una determinada pressió de la LD al seu entorn immediat. Si els parlants es resisteixen a canviar de la LS a la LD, l'estat 0 desapareix; però si els parlants canvien de la LS a la LD, desapareixen els estats 1 i 2. Com que l'estat 0 correspon a monolingües en la LD, aquest resultat implica la desaparició de la LS. En el cas en què desapareix l'estat 0 i totes les caselles de l'autòmat esdevenen en estat 1 i 2, la LS es manté perquè tots els parlants han esdevingut bilingües (amb preferència per la LD en el cas de l'estat 1 i amb preferència per la LS en el cas de l'estat 2). Els bilingües amb preferència per la LS mantenen els mateixos percentatges, però els monolingües passen a bilingües amb preferència per la LD. Tots aquests resultats coincideixen en els àmbits d'ús de la llengua estudiats ("Membres de la llar", "Amistats", "Petit comerç" i "Gran comerç") i es mantenen estables en les quatre generacions de parlants que hem simulat.

Les dades empíriques que han servit per proporcionar els valors dels estats a l'autòmat cel·lular es van obtenir de l'*Enquesta d'usos lingüístics de la població 2008*. Els resultats de la simulació, per tant, ens permeten avançar algunes respostes sobre el futur de la llengua pròpia a Catalunya: amb el percentatge actual és possible mantenir el català, si els catalanoparlants no canvien de llengua, fins i tot en situacions en què hi ha pocs catalanoparlants a l'entorn immediat. Per això, els resultats que hem obtingut suggereixen que, juntament amb les iniciatives de govern per promoure l'ús del català, cal també implementar iniciatives destinades a convèncer les persones perquè utilitzin el català fins i tot quan hi ha pocs parlants de català entre els interlocutors, és a dir, instrumentalitzar mesures de consolidació de l'autoestima dels catalanoparlants des de la intervenció psicosocial i educativa. A més, aquestes polítiques lingüístiques (escolars, culturals, socials, laborals, socioambientals, institucionals, etc.) haurien de ser implementades de manera immediata, perquè, com també mostren les nostres simulacions, el possible canvi de la SL a la DL, de català a castellà en el nostre cas, és un procés que, si no s'actua, es pot completar ràpidament en poques generacions. Els resultats obtinguts no són pas sorprenents i, de fet, confirmen els efectes negatius que té sobre la LS la regla de submissió lingüística, és a dir, el canvi de la LD a LS per part dels parlants de la LS en presència d'interlocutors de la LD (Melià, 2004). La simulació, però, permet comprovar els efectes que té per al futur de la LS mantenir o canviar la LS quan hi ha una determinada presència de la LD a l'entorn immediat. Des d'aquesta perspectiva, la simulació informàtica basada en autòmats cel·lulars proporciona una bona eina de treball per conèixer els mecanismes implicats en les dinàmiques de substitució lingüística i per predir el futur d'una llengua tenint en compte diversos escenaris possibles.

No obstant això, convé encara dilucidar algunes qüestions importants relacionades amb el model que hem presentat. La primera, sens dubte, és identificar a quins factors socials i/o psicològics fa referència el llindar de la simulació i com hi podem accedir; és a dir, com podríem fer operatiu empíricament el llindar per tal de poder-lo mesurar (per exemple, quin tipus de pregunta o preguntes caldria incloure en una enquesta). També cal remarcar que les dades empíriques amb què es van fer les simulacions corresponen a les dades generals del Principat. Així, per exemple, observem que la incidència de llengües diferents del català o del castellà és molt minsa i, per tant, el model proposat s'ajusta bé a aquesta situació (taula 2). No obstant això, a escala local o comarcal la incidència d'aquestes pot ser diferent (no només percentualment, sinó també en la distribució territorial dels parlants). En tractar-se de dades generals, en les simulacions es va considerar que la població estava barrejada i, per tant, hi havia la mateixa probabilitat d'interaccionar amb qualsevol dels parlants. Com que la versió actual de l'autòmat cel·lular admet la possibilitat de determinar directament en quin estat es troba cada casella en iniciar la simulació, seria factible tenir en compte la densitat i distribució actual dels parlants a escala local i comarcal i incloure-les en la simulació.

I, finalment, no podem estar-nos d'assenyalar les oportunitats didàctiques de l'autòmat cel·lular. Amb una interfície d'usuari senzilla seria possible que qualsevol persona, no necessàriament expert en sociolingüística o psicolingüística, explorés les possibles situacions en què es pot trobar la llengua en el futur, de l'extinció a la pervivència, i s'adonés que depenen directament de la conducta individual de cadascun dels parlants. En qualsevol cas, tot i que, com hem esmentat, la recerca futura ha d'esbrinar i desenvolupar altres aspectes importants, el modelat de la conducta lingüística dels individus mitjançant un autòmat cel·lular ha demostrat que és una eina útil per entendre els processos de substitució lingüística, especialment per explorar el possible futur d'una llengua amenaçada per un procés de substitució. En el cas concret del català al Principat (i també al País Valencià en les nostres investigacions prèvies), ha permès mostrar el paper cabdal de la conducta lingüística dels catalanoparlants en la pervivència de la llengua, que serà possible si es trenca la regla de submissió lingüística i s'evita el canvi del català al castellà fins i tot en entorns en què la presència del català és baixa.

Referències

GILBERT, G. N. "Simulation as a research strategy". A: Troitzsch, K. G.; Mueller, U.; Gilbert, G. N.; Doran, J. E. (ed.). *Social science microsimulation*. Berlin: Springer, 1996, p. 448-454.

GILBERT, G. N. *Agent-based Models*. Beverly Hills, CA: Sage, 2007.

GOLDSPINK, C. "Methodological implications of complex systems approaches to sociality: Simulation as a foundation for knowledge". *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* (2002), 5 (1), núm. 3. També disponible en línia a <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/5/1/3.html>>

HEGSELMANN, R. "Understanding Social Dynamics: The Cellular Automata Approach". A: Troitzsch, K. G.; Muller, U.; Gilbert, G. N.; Doran, J. E. (ed.). *Social science microsimulation*. Berlin: Springer, 1996, p. 282-306.

HEGSELMANN, R.; FLACHE, A. "Understanding complex social dynamics: A plea for cellular automata based modelling". *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 1, (1998), (3) 1. També disponible en línia a <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/JASSS/1/3/1.html>>

Idescat. *Enquesta d'usos lingüístics de la població*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Secretaria de Política Lingüística, 2008.

JACKSON, J. M.; LATANÉ, B. "All alone in front of all those people: Stage fright as a function of number and type of co-performers and audience". *Journal of Personality and Social Psychology* (1981), núm. 40, p. 73-85.

JUNYENT, C. "El català: una llengua en perill d'extinció?". *Revista d'Igualada* (1999), núm. 1, p. 27-38.

LATANÉ, B. "The psychology of social impact". *American Psychologist*, (1981), núm. 36, p. 343-365.

LATANÉ, B. "Dynamic social impact". A: HEGSELMANN, R.; MUELLER, U.; TROITZSCH, K. G. (ed.). *Modelling and Simulation in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View*. Dordrecht, The Netherlands: KLUWER, 1996, p. 285-308.

LATANÉ, B.; LIU, J. H.; NOWAK, A.; BENEVENTO, M.; ZHENG, L. "Distance Matters: Physical Space and Social Impact". *Personality and Social Psychology Bulletin* (1995), 21 (8), p. 795-805.

LATANÉ, B.; NOWAK, A.; LIU, J. H. "Measuring Emergent Social Phenomena: Dynamism, Polarization and Clustering as Order Parameters of Social Systems". *Behavioral Science*, (1994), 39 (1), p. 1-24.

LATANÉ, B.; WOLF, S. "The Social Impact of Majorities and Minorities". *Psychological Review* (1981), 88 (5), p. 438-453.

MELIÀ, J. L. "Com es destrueix la llengua dels valencians: Un model binomial pels efectes de la regla de submissió lingüística". *Anuari de Psicologia de la Societat Valenciana de Psicologia*, (2004), 9, 1, p. 55-68.

NINYOLES, R. L. *Coneixement i ús social del valencià (síntesi de resultats)*. València: Servei d'Investigació i Estudis Sociolingüístics. Direcció General de Política Lingüística de la Generalitat Valenciana, 2005.

NOWAK, A.; LEWENSTEIN, M. "Modeling Social Change with Cellular Automata". A: HEGSELMAN, R.; TROIZSCH, K. G.; MULLER, U. (ed.). *Computer Simulation from the Philosophy of Science Point of View*. Dordrecht, The Netherlands: KLUWER, 1996, p. 249-285.

NOWAK, A.; SZAMREZ, J.; LATANÉ, B. "From Private Attitude to Public Opinion: A Dynamic Theory of Social Impact". *Psychological Review* (1990), 97 (3), p. 362-376.

PRATS, M. A.; ROSSICH, A. *El futur de la llengua catalana*. 7a ed. Barcelona: Empúries, 1995.

SALVADOR BELTRAN, F.; HERRANDO, S.; FERRERES, D.; ESTREDER, V.; ADELL, M.A.; RUIZ-SOLER, M. "Forecasting language shift based on cellular automata". *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* (2009), 12, 3, 5. També disponible en línia a <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/12/3/5.html>>

SALVADOR BELTRAN, F.; HERRANDO, S.; ESTREDER, V.; FERRERES, D.; ADELL, M.A.; RUIZ-SOLER, M. "A language shift simulation based on cellular automata". A: Blanchard, E. G.; Allard, D. (ed.). *Handbook of Research on Culturally-Aware Information Technology: Perspectives and Models*. Hershey, PA: IGI Global, 2010, p. 136-151.

