

Estudi de la il·lustració científica com a eina clau en l'aprenentatge de les ciències: Una perspectiva cognitiva i didàctica.

Alba Noguera Carol

“ Si no ho puc dibuixar,
és que no ho entenc.”

A. Einstein

Des de temps remots, l'ésser humà ha tingut la necessitat d'entendre i descriure el món que l'envolta. La representació gràfica ha esdevingut una de les maneres de fer-ho i una mostra d'aquestes primeres manifestacions la trobem en les pintures rupestres. En el camp de les ciències naturals, concretament en la seva aparició i desenvolupament, la il·lustració científica ha tingut un paper determinant, tant per transmetre coneixements, com per facilitar-ne la seva comprensió. En les grans fites de la història de les ciències biològiques, els diferents científics feien un ús prioritari de la il·lustració per tal de poder transmetre i divulgar els coneixements a la societat, en són exemples les il·lustracions de S. Ramón y Cajal, de C. Darwin, de Maria Sibylla Merian o d'E. Haeckel, de Leonardo Da Vinci entre molts d'altres. Per tant, la il·lustració és i ha sigut una eina fonamental en l'evolució del coneixement científic.

Tot i que el dibuix en ciències també és art, en ciències cal que hi hagi una correspondència amb el món natural que intenta explicar o descriure. La finalitat de la il·lustració científica no és simplement crear un dibuix més o menys bonic, sinó informar i descriure processos amb precisió i rigor. Per tant, podem dir que seria difícil imaginar, ensenyar, aprendre o fer ciència sense l'ús de representacions visuals. A continuació analitzarem quin paper juguen les il·lustracions en l'ensenyament de les ciències i quan poden resultar beneficioses en el procés d'aprenentatge.

Què és un "dibuix"?

Abans de començar a parlar de l'ús de les il·lustracions i dibuixos a les aules de ciències, és important saber què és o què s'entén per "dibuix". La qüestió és que no hi ha consens en la literatura sobre la definició de "dibuix" i molts termes (per exemple, esbós, diagrama, representació externa, model extern, visualització, il·lustració, imatge) s'utilitzen de manera diferent en diferents treballs. Quillin (2014) defineix el dibuix en general com una representació visual externa generada per un aprenentatge que representa qualsevol tipus de contingut, ja sigui estructura, relació o procés, creat de forma estàtica en dues dimensions en qualsevol mitjà. Aquesta definició, alhora que inclou, emmagatzema diversos factors que es compliquen a l'ús del dibuix a l'aula, com podria ser de biologia.

Per què demanar als estudiants que dibuixin? El concepte de la memòria de treball.

Amb la definició de dibuix establerta, la següent tasca és donar sentit a les moltes raons per utilitzar el dibuix. L'ús efectiu del dibuix a l'aula i la mesura efectiva del dibuix com a eina depenen de l'alineació entre els resultats, l'avaluació i les activitats desitjades (Cohen, 1987; Wiggins i McTighe, 1998). Per tant, la transparència respecte als objectius és essencial. Els exercicis formatius s'utilitzen per ajudar els estudiants a construir els seus propis coneixements i a practicar habilitats i els instructors els fan servir per permetre un feedback dirigit als estudiants, Quillin (2014). (Figura 1.)

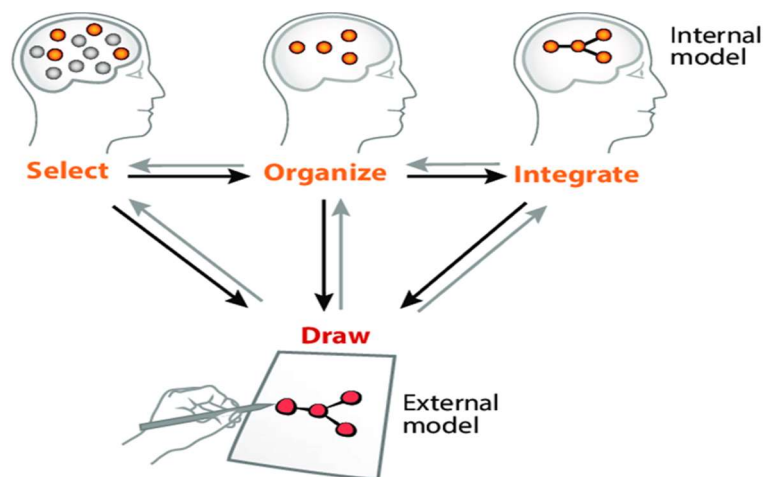


Figura 1. Marc visual per a la teoria generativa de la construcció de dibuixos. En aquest model, els cercles representen informació verbal i / o visual. Les fletxes mostren que un dibuix pot ser un punt final, desenvolupat després de la creació d'un model mental, o un mitjà per crear un model mental, és a dir, que la creació de models interns i externs pot ser lineal o iterativa (Quillin et al.)

Biol. on-line: Vol. 9, Núm. 1 (Febrer de 2020)

ISSN: 2339-5745 online

Les representacions visuals són essencials per comunicar idees a l'aula de ciències, però, el disseny d'aquestes representacions no sempre és beneficiós per als estudiants. Això està determinat perquè els estudiants tenen una memòria de treball limitada i les representacions s'han de dissenyar amb l'objectiu de reduir la càrrega cognitiva innecessària. Però què significa que els estudiants tenen una memòria de treball limitada?

Segons la "Teoria de la càrrega cognitiva" de John Sweller (1994), que es basa en com el cervell humà processa i emmagatzema la informació, per una part, afirma que hi ha un límit en quanta informació nova pot processar el cervell a la vegada i per l'altra, diu que no hi ha límits per quanta informació "emmagatzemada" pot ser processada a la vegada. En el primer cas s'està referint a la memòria de treball (que és un tipus de memòria a curt termini) i en el segon cas, ja fa referència a quan la informació ja s'ha emmagatzemat, per tant, fa referència a la memòria a llarg termini. Ara bé, quin objectiu es planteja aquesta teoria? La Teoria de la Càrrega Cognitiva (Sweller, 1994) , en essència, pretén alinear el disseny de material instruccional amb l'Arquitectura Cognitiva Humana (ACH). Com hem comentat, les seves premisses són que els aprenents tenen una molt limitada capacitat de memòria de treball quan s'han d'enfrontar a nova informació. Per això, l'aprenentatge es veurà amenaçat si els materials d'instrucció sobrecarreguen aquests recursos. Degut a que la informació que prové de l'entorn és rebuda i processada per mitjà de canals parcialment independents, com l'auditiu i el visual, la memòria de treball es pot veure beneficiada si el medi de presentació utilitza varis canals al mateix temps i evita sobrecarregar-ne només un. Per tant, aquest punt serà important a tenir en compte a l'hora de dissenyar les il·lustracions a l'aula de ciències. A més a més, com veurem més endavant, la informació podrà ser adquirida si l'activitat mental de l'aprenent pot relacionar-la amb els esquemes mentals de la informació prèviament emmagatzemada a la memòria a llarg termini (Clark & Mayer, 2007; Mayer, 2005). Un esquema organitza elements segons com seran utilitzats i és la forma com s'emmagatzema la informació a la memòria a llarg termini. No hi ha límit en com de complex pot arribar a ser un esquema. Els esquemes, per tant, organitzen i emmagatzemen la informació i redueixen la càrrega cognitiva de la memòria a curt termini. Un esquema ben establert compta com a un únic element a la memòria de treball i arriba un punt en què s'arriba a l'automatització, aquest concepte fa referència a l'estat en què la informació pot ser processada amb el mínim esforç (ex: llegir) després d'una pràctica extensiva.

Segons els teòrics de la càrrega cognitiva, qualsevol ensenyament o instrucció és efectiva si el seu disseny ha tingut en compte les característiques de la cognició humana. Per tant, l'arquitectura cognitiva és la manera com les estructures i les funcions cognitives de l'ésser humà estan organitzades. Segons la Teoria de la Càrrega Cognitiva la informació que entra al cervell és

processada a través de tres sistemes o estructures: a) la memòria sensorial, b) la memòria de treball, i c) la memòria a llarg termini (figura 2).

Estructura de la Arquitectura Cognitiva Humana, ACH

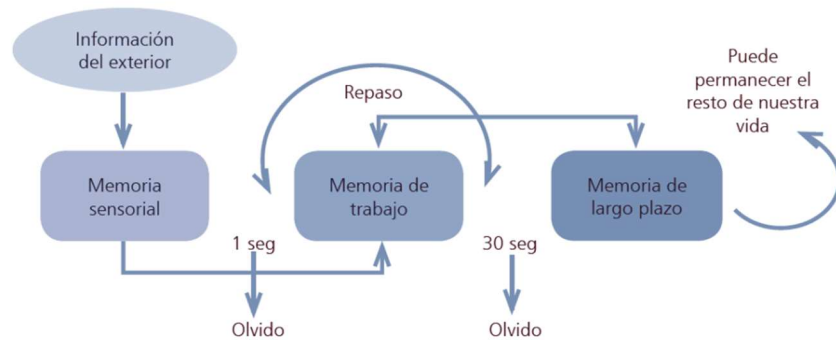


Figura 2. Estructura de l'Arquitectura Cognitiva Humana, ACH. Font: Elaborat amb base Dale sheffwer, Wendy Doube i Juhani Touvinen, 2003. Andrade- Lotero (2012).

Per altra banda, Robert D. Griffin ofereix als estudiants una manera de comprendre la biologia pintant dibuixos detallats dels sistemes corporals, entre d'altres. En el seu prefaci a *The Biology Coloring Book* (figura 3), Griffin descriu un enfocament força disciplinat mentalment, ja que l'acció de pintar es troba principalment al servei de la memorització i l'atenció. L'activitat de pintar no és una mena de joc feliç sinó una part integral del que s'ha demostrat ser un mètode d'aprenentatge molt efectiu. No només aquesta activitat física fa que sigui molt més difícil que la seva ment vagi cap a algun altre tema, sinó que també requereix l'activitat de les parts del seu cervell implicades en el moviment i la percepció del color i la forma. Com ja és conegut, quantes més àrees del cervell hi hagi involucrades simultàniament a l'intent d'aprendre alguna cosa, més fàcilment es comprendrà i es recordarà el material [Griffin, 1986].

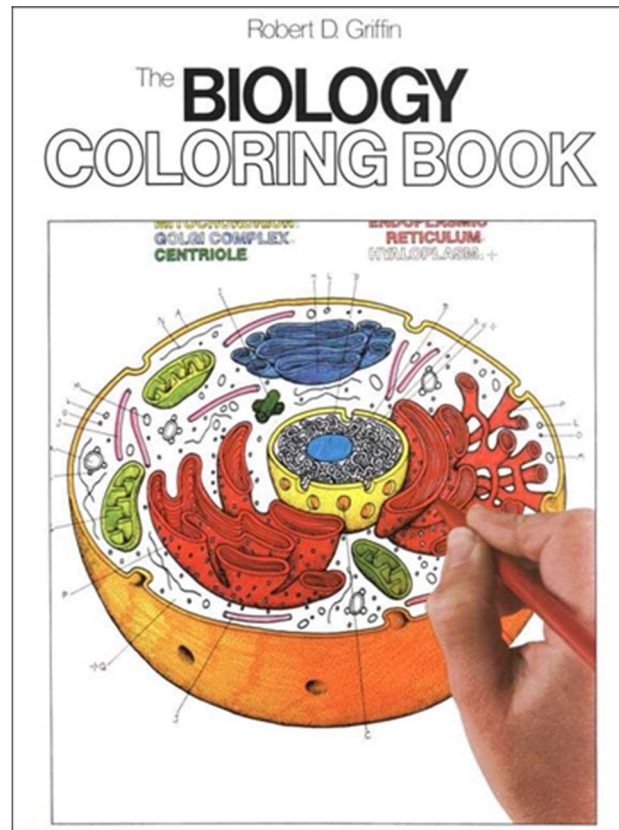


Figura 3. Exemple de la portada del llibre "The Biology coloring book" elaborat per Robert Griffin.

Afortunadament, alguns canvis menors en la instrucció tenen el potencial de produir avantatges d'aprenentatge significatius per als estudiants. Per exemple, la mera referència a il·lustracions del llibre de text com a "models" podria ajudar a apropar un estudiant a una perspectiva experta sobre la naturalesa dinàmica del coneixement en ciències.

El paper de la il·lustració científica en l'ensenyament de les ciències

Tractar d'entendre el paper que juga la imatge en l'ensenyament i l'aprenentatge de les ciències és molt complex i s'ha de basar en referències d'àmbits de coneixement dispersos com són la semiòtica, la psicologia i la didàctica de les ciències. A continuació, les esmentarem com a respostes a preguntes essencials.

- Quins signes utilitza el llenguatge, quines normes els regeixen, què volen dir?

S'entén per semiòtica la "ciència general dels signes lingüístics"; engloba semàntica i sintaxi. En qualsevol cas, el denominador comú és l'interès per l'ús de signes i el seu significat.

Biol. on-line: Vol. 9, Núm. 1 (Febrer de 2020)

ISSN: 2339-5745 online

Des d'un punt de vista didàctic, com assenyala Shapiro (1998, p. 609), «els estudis es basen en el supòsit que la cultura proporciona una sèrie de signes, símbols i regles sobre la interacció que s'utilitzen, conscientment o no, per crear i "llegir" l'entorn d'aprenentatge. Per tant, les representacions semiòtiques fan referència a totes aquelles construccions de sistemes d'expressió i representació que poden incloure diferents sistemes d'escriptura, com ara números, anotacions simbòliques, representacions tridimensionals, gràfics, xarxes, esquemes, etc. Compleixen funcions de comunicació, expressió, objectivació i tractament.

- Com es processen les imatges?

D'aquesta qüestió, i a la que anirem fent més èmfasi al llarg de l'article, se n'encarreguen la neurociència i la psicologia. Pel que fa al processament d'imatges, es pot dir que hi ha diversos models que intenten explicar els mecanismes que comporta aquest processament.

Per una banda, el model de doble codificació de Paivio (1971, 1986) intenta explicar el processament d'imatges mitjançant una doble via, una de no verbal per a la primera i una verbal per al text (oral o escrita), encara que no sigui independent. Com a punt de partida, considera dos tipus de representació, una de física i l'altra mental. La representació mental es pot establir a través de tres nivells: a) representacions observables, que es poden expressar directament mitjançant el llenguatge o la imaginació; b) les estructures i processos mentals que els sustenten; i c) els models teòrics que intenten descriure els mecanismes que els regeixen. L'ajut de certes il·lustracions per a la memorització de textos s'explicaria d'acord amb l'ús dels dos canals per processar informació, cosa que permet la seva interconnexió a la memòria de treball.

Per altra banda, Schnotz (2002) exposa una visió més eclèctica, que defensa un model integrat de processament de textos i imatges, i estableix aquest darrer en relació amb els models proposats per a la comprensió de textos escrits. De fet, parla de com comprendre una imatge: a) una representació de la seva estructura superficial, és a dir, de la percepció visual d'aquesta; b) un model mental, és a dir, l'establiment d'una correspondència entre les seves característiques estructurals i les referències que posseeixi l'individu anteriorment; c) una representació proposicional o, el que és el mateix, una conversió del model mental en termes de proposicions lingüístiques; d) un nivell comunicatiu, és a dir, el context en què es produeix

Biol. on-line: Vol. 9, Núm. 1 (Febrer de 2020)

ISSN: 2339-5745 online

el processament de la imatge; i e) una representació d'un nivell general, és a dir, que engloba el tipus d'imatge en qüestió i les funcions que realitza.

Per altra banda, els investigadors Carney i Levin (2002), centrats en l'anàlisi de les il·lustracions que acompanyen els textos, reprenen una "metaanàlisi" (Levin et al., 1987), on, a partir de la classificació de diverses funcions de les il·lustracions (decorativa, representativa, organitzativa, interpretativa i transformativa) avaluen la seva incidència en l'efecte per a la funció decorativa i una creixent en l'ordre següent: representatiu, organitzatiu, interpretatiu i transformatiu.

Tot i així, la teoria de codificació de Paivio continua sent la referència més citada per emmarcar els resultats de la investigació en aquest camp.

- Quines imatges utilitza la societat, els professors, els estudiants o els llibres de text en l'ensenyament i l'aprenentatge de la ciència? Com es poden valorar i millorar? Com contribueixen a la representació del coneixement científic?

En una societat com l'actual, de vegades qualificada com a "societat del coneixement", una part significativa d'aquest es canalitza a un format visual sense despertar un gran interès entre els educadors i els investigadors en educació. En aquest sentit (Perales Palacios, 2006) assenyalen algunes possibles accions:

- 1) La imatge, en les seves diferents modalitats i formats, s'ha d'avaluar des del punt de vista didàctic, com a mínim, al mateix nivell que el que es fa amb el llenguatge verbal. Per això hauríem de començar entenent que en el llenguatge visual "no tot és vàlid".
- 2) Això hauria de portar a seleccionar acuradament les imatges que utilitzem en l'ensenyament de les ciències, suprimir aquelles que només tenen una funció decorativa, transformar-ne les existents i inventar-ne de noves.
- 3) Com que la majoria de les activitats de l'aula impliquen treballs sobre un text escrit (lectura d'un llibre, resolució d'un problema, etc.), també hauríem de fer-ho en la mateixa mesura sobre la visual (interpretació o construcció de gràfics), detecció d'errors. en xifres, etc.), la qual cosa implica naturalment un "cost cognitiu". En aquest sentit, la coherència entre el llenguatge verbal i visual emprat en l'ensenyament és un gran factor d'ajuda i s'ha d'afavorir en l'alumne

Biol. on-line: Vol. 9, Núm. 1 (Febrer de 2020)

ISSN: 2339-5745 online

la realització d'activitats en un doble sentit, és a dir, la construcció d'imatges a partir d'un text escrit i viceversa.

4) Des del punt de vista de l'epistemologia de la ciència, cal que l'estudiant sàpiga en tot moment quina és la realitat, la seva modelització i la representació mitjançant imatges, per tal d'evitar confusions entre aquests tres plans.

5) A les imatges, com en el medi natural, la diversitat és un indicatiu de qualitat. La multiplicitat de tipus i les possibles funcions didàctiques s'han d'utilitzar en l'àmbit didàctic segons les necessitats de l'alumnat.

6) El factor individual també té en compte: variables com els coneixements previs de l'estudiant, el seu estil d'aprenentatge, el seu nivell de desenvolupament cognitiu o l'actitud davant els recursos visuals emprats tenen un paper rellevant en els resultats d'aprenentatge.

Per tant, el llenguatge visual té un paper tan important com el verbal i l'escrit, tot i que en molts casos el seu ús s'ha quedat relegat en un segon pla en l'ensenyament de les ciències. A través del llenguatge visual incorporem a la nostra estructura cognitiva informació que facilita les descripcions i, en molts casos, té una gran importància per a la construcció del coneixement. A més, la memòria que tenim per a les imatges és més potent que la memòria de les paraules, de manera que faciliten la memorització, sobretot a llarg termini (Levie i Lenz, 1982). Com Grilli, et al. (2015) assenyalen: "La comunicació gràfica ha estat present d'una forma o altra al llarg de la història humana i de la construcció de ciències naturals i per això l'ensenyament i l'aprenentatge de les ciències no es poden dur a terme fora d'aquest recurs comunicatiu que complementa i n'amplia la verbalitat".

Resulten sempre útils les il·lustracions en el procés d'aprenentatge?

Hem comentat que la il·lustració pot tenir diferents funcions en llibres de text i la seva morfologia pot ser igual de variada, però ens interessa destacar el paper de les il·lustracions en la promoció de la comprensió. Entre les investigacions promogudes per millorar l'ús d'imatges en la comprensió de textos destaca l'estudi de la coordinació entre text i imatge (Mayer, 1989; Mayer i Gallini, 1990; Mayer, 1994; Mayer et al., 1996). Aquests autors troben que, per tal que



Figura 4. Il·lustració botànica. Detalls de Tipuana tipu, realitzat per l'autora de l'article.

una imatge ajudi als lectors, s'han de complir les condicions següents: a) els textos que més es beneficien de les il·lustracions són explicatius, és a dir, contenen fragments en els quals es descriuen en termes causals les relacions entre les parts que constitueixen un conjunt; b) que els lectors no tinguin coneixements específics sobre el tema; en cas contrari, la preexistència d'un model mental adequat fa que les imatges siguin supèrflues; i c) que el text és prou complex perquè la construcció del seu model mental requereix esforç i ajuda. Tanmateix, fins i tot en aquestes condicions, les imatges afavoreixen l'aprenentatge d'una manera selectiva, principalment en la memòria explicativa i la resolució de problemes.

D'altra banda, diferents autors coincideixen en la necessitat de dirigir l'atenció dels lectors per evitar una lectura superficial de les imatges (Maichle, 1994; Peek, 1994) mitjançant instruccions específiques i l'ús de determinades tasques a partir de la lectura de les imatges.

Biol. on-line: Vol. 9, Núm. 1 (Febrer de 2020)

ISSN: 2339-5745 online

(extrapolació d'informació, establiment de comparacions, anàlisi de dades, resolució de problemes ...) (Gillespie, 1993).

Sembla prou contrastat que el mode de processament de la informació continguda a les imatges representa certs avantatges sobre la lectura de textos, ja que permet la lectura superficial, és a dir, no es limita a la lectura seqüencial característica del llenguatge verbal (Moles, 1991) . Per contra, la imatge també es caracteritza per la seva polisèmia, per la qual cosa és molt difícil predir quina serà la interpretació de la il·lustració d'una persona. Aquesta especificitat de la imatge, com a instrument de comunicació obert o ambigu, planteja un problema educatiu de primer ordre que afecta els editors, els professors que l'utilitzen i el propi estudiant.

Aquestes dificultats han fet que la investigació, especialment en l'àmbit psicològic, s'hagi vist obstaculitzada i que necessiti metaanàlisi, com la que han dut a terme Levie i Lentz (1982) on els resultats més notables obtinguts en cinquanta-cinc treballs anteriors, són de forma resumida els següents:

- 1) En les situacions habituals en què té lloc l'educació, la introducció d'il·lustracions que embelleixen el text no millora l'aprenentatge de la informació continguda, tot i que en principi els lectors se senten atrets per ells.
- 2) Quan les il·lustracions redunden la informació continguda en el text, hi ha un efecte positiu en l'aprenentatge.
- 3) La presència d'il·lustracions no facilita ni dificulta l'aprenentatge d'informació no il·lustrada, és a dir, l'ajuda que proporcionen les il·lustracions és específica de la informació que contenen.
- 4) Les il·lustracions adequades ajuden a comprendre el text il·lustrat, faciliten la



Figura 5. Il·lustració realitzada per Charles Darwin. Font: Darwin-online.org.uk

Biol. on-line: Vol. 9, Núm. 1 (Febrer de 2020)

ISSN: 2339-5745 online

seva memorització, especialment a llarg termini, i permeten una gran varietat de funcions instructives.

5) En algunes ocasions, les il·lustracions poden substituir molt bé les paraules proporcionant informació extralingüística de manera més eficaç. Els lectors tenen problemes per comprendre il·lustracions complexes si no se'ls ajuda quan els llegeixen. Molt sovint els lectors miren superficialment les il·lustracions sense esperar informació rellevant d'elles.

6) Les il·lustracions provoquen reaccions afectives i fan que els documents siguin més atractius.

7) La investigació en què s'ha animat als estudiants a crear les seves pròpies imatges mentals, o fins i tot els seus propis dibuixos, mostren resultats positius en alguns casos, però amb interaccions complexes.

Quan “ una imatge val més que mil paraules”

La il·lustració científica ens permet explicar de forma simple, processos que són abstractes o complexos d'entendre. Això fa que sigui una eina molt potent i efectiva tan per comunicar la ciència a les aules com a la societat en general i d'aquesta manera fer-la comprensible i accessible per a tothom. La finalitat de la divulgació científica no és més que el fet de poder transmetre coneixements científics a la societat per tal que aquesta gaudeixi d'una cultura científica que l'ajudi a entendre els processos que passen al seu voltant i, la il·lustració científica és un suport molt important per assolir aquesta correcta difusió del coneixement científic, ja sigui de científics o investigadors a la societat com de professors a alumnes.

Bibliografia

Andrade-Lotero, Luis Alejandro. Teoría de la carga cognitiva, diseño multimedia y aprendizaje: un estado del arte Magis. Revista Internacional de Investigación en

Educación, vol. 5, núm. 10, julio-diciembre, 2012, pp. 75-92

Biol. on-line: Vol. 9, Núm. 1 (Febrer de 2020)

ISSN: 2339-5745 online

CARNEY, R.N. y LEVIN, H.R. (2002). Pictorial illustrations still improve students' learning from text. *Educational Psychology Review*, 14(1), pp. 5-26.

Cook Michelle. Teacher's use of visual representations in the science classroom. *Science education international.*, 2011. - 3 (175-184) : Vol. 22.

Corney Russell N. y Levin Joel R. Pictorial illustrations still improve student's learning from text. *Educational Psychology Review*, 2002. - 1 : Vol. 14.

Díaz de Bustamante J. y Jiménez Alexandre M. P. ¿Ves lo que dibujas? Observando células con el microscopio. *Investigación y experiencias didácticas.*, 1996. - 2 (183 - 194) : Vol. 14.

Durán Armengol Teresa. Ilustración, comunicación, aprendizaje. *Revista de educación.*, 2005. - Extraordinario (239-253).

Glynn, S.M. y Muth, K.D. (1994). Reading and writing to learn science: Achieving scientific literacy. *Journal of Research in Science Teaching*. 31 (9), 1057-1073.

Glynn, S. (1997). Drawing mental models. *The Science Teacher*, 64 (1), 30-33

GILLESPIE, C.S. (1993). Reading graphic display: what teachers should know. *Journal of Reading*, 36(5), pp. 350-354.

R. D. Griffin, *The Biology Coloring Book*, HarperCollins, New York, 1986

Grilli Javier, Laxague Mirtha y Barboza Lourdes. Dibujo, fotografía y biología. Construir ciencia con y a partir de la imagen. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias.*, 2015. - 1 (91-108) : Vol. 12.

Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental Models. Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness.* Cambridge: Harvard University Press

JOHNSON-LAIRD, P.N. (1980). Mental models in cognitive science. *Cognitive Science*, 4, pp. 71-115.

MAYER, R.E y SIMS, V.K. (1994). For whom is a picture worth a thousand words? Extensions of a dual-coding theory of multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, 86(3), pp. 389-400.

MAYER, R.E. y GALLINI, J.K. (1990). When is an illustration worth ten thousand words. *Journal of Educational Psychology*, 82(4), pp. 715-726

MAICHLE, U. (1994). Cognitive processes in understanding line graphs, en Schnotz, W.

Biol. on-line: Vol. 9, Núm. 1 (Febrer de 2020)

ISSN: 2339-5745 online

y Kulhavy, R.W. (eds.) Comprehension of graphics. *Advances in psychology*, 108, pp. 207-226. Amsterdam: Elsevier Science B.V.

Schnotz, W. y Kulhavy, R.W. Comprehension of graphics. *Advances in psychology*, 108, pp. 3-28. Amsterdam: Elsevier Science B.V.

Mayor Iborra José y Flores Gutiérrez Mariano. El dibujo científico. Introducción al dibujo como lenguaje en el trabajo de campo. [Publicación periódica]. - [s.l.]: VAR, 2013. - 9 (130-134) : Vol. 4.

SHAPIRO, B. (1998). Reading the furniture: The semiotic interpretation of science learning environments, en Fraser, B.J. y Tobin, K.G. (eds.). *International Handbook of Science Education*, pp. 609-622. Holanda: Kluwer Acad. Publ.

MOLES, A. (1991). Pensar en línea, pensar en superficie, en Costa, J. y Moles, A. (eds.). *Imagen Didáctica. Enciclopedia del Diseño*, pp. 9-35. Barcelona: Ceac.

Sweller, J. and Chandler, P. (1994) Why some material is difficult to learn. *Cognition & Instruction*, 12, 185-233.

PAIVIO, A.V. (1986). Mental representations: A dual coding approach. Nueva York: Oxford University Press.

Sweller, J. (1994) Cognitive load theory, learning difficulty and instructional design. *Learning and Instruction*, 4, 295-312.

Perales Francisco J. La imagen en la enseñanza de las ciencias: Algunos resultados de investigación en la universidad de Granada, España. *Formación Universitaria.*, 2008. - 4 (13-22) : Vol. 1.

Sweller, J. (2002) Visualitzation and instructional design. Knowledge media research center.

Perales Palacios F.Javier. Uso (y abuso) de la imagen en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias.*, 2006. - 1 (13-30) : Vol. 24.

Tyler C. W. y Likova L. T. (2012) The role of the visual arts in enhancing the learning process. *Frontiers in humans neuroscience*.

SCHNOTZ, W. (2002). Towards an integrated view of learning from text and visual displays. *Educational Psychology Review*, 14(1), pp. 101-120.

ZINNER, H.D. (1994). Representation and processing of the spatial layout of objects with verbal and non verbal input.