

# BASES TEÒRIQUES I EXPERIMENTALS DE LA NEUROFISIOLOGIA DE LA CONSCIÈNCIA

Treball final de Grau

Psicobiologia i Neurociència Cognitiva

Universitat Oberta de Catalunya

1 de febrer de 2015

José Manuel Ramírez Gómez

Consultor: Dr. David Bartrés Faz

## Índex

Introducció . . . . .	3
Consciència fenomenològica i perceptual . . . . .	4
Correlats neurals de la consciència . . . . .	6
Paradigmes de recerca . . . . .	6
Marc teòrics . . . . .	7
Problemes metodològics, tècnics i ètics de la recerca . . . . .	11
Estat actual del coneixement sobre els NCC . . . . .	13
Mesures de l'estat de consciència . . . . .	16
Patró temporal . . . . .	17
Futures línies de recerca . . . . .	18
Conclusions . . . . .	19
Bibliografia . . . . .	20

## Introducció

La capacitat d'observar els propis processos mentals mitjançant la experiència personal és un dels trets distintius de la humanitat. Aquesta capacitat, una de les múltiples facetes del que es pot identificar amb la consciència, és una conseqüència emergent de les característiques estructurals i funcionals del sistema nerviós. El seu estudi ha esdevingut multidisciplinari, doncs especialistes en camps tan diversos del saber com la filosofia, la cibernètica, la biologia, la psicologia i la informàtica hi aporten els seus coneixements per aprofundir en la seva comprensió.

La consciència ha esdevingut un dels temes més rellevants dins la neurociència cognitiva. Potser l'objecte d'estudi més inassequible a pesar de la seva directa i contínua experiència (únic element de certesa en el pensament cartesià), és un camp apassionant degut a les conseqüències filosòfiques que implica el seu coneixement profund, doncs cada pas que els investigadors donen per apropar-se a la seva comprensió implica entendre una mica millor allò que ens fa humans.

La fascinació davant la facultat d'ésser al mateix temps subjecte i objecte de les meves percepcions, observacions i reflexions ha estat una constant en la meua vida des de que tinc ús de raó. Per això, en aquest treball de fi de grau en l'àmbit de la psicobiologia i de la neurociència cognitiva, he volgut saber quins avenços ha assolit la recerca més actual sobre les bases neurofisiològiques de la consciència, intentant obtenir una visió global de l'estat del coneixement sobre aquesta qüestió a finals de 2014. Naturalment, no puc ser menys humil que els autors dels treballs en els quals m'he basat, que insisteixen en les limitacions de les seves conclusions i la provisionalitat dels seus resultats, a l'espera de futures confirmacions. La humilitat d'aquests investigadors demostra que l'autèntica ciència no facilita veritats absolutes i dogmàtiques, sinó **relatives** i en **constant actualització**. Aquest és el missatge fonamental que vol transmetre aquest modest treball.

## Consciència fenomenològica i perceptual

És complicat definir en paraules tot allò que podem experimentar de manera personal, interna i directa. La consciència **fenomenològica**, que es pot descriure de forma aproximada com la capacitat per a reconèixer la pròpia existència, pot ser viscuda subjectivament de formes molt diferents per cada un de nosaltres, encara que podem estar raonablement d'acord en els seus signes. La facultat d'informar a d'altres sobre les pròpies experiències es considera un signe inequívoc de consciència, encara que lligat al llenguatge. Això limita l'abast de la consciència a la espècie humana, molt específicament als adults sans. No obstant, cada nit, tots i cada un de nosaltres podem experimentar la consciència en entorns imaginaris durant la fase REM de la son, mentre el nostre cos roman immòbil i no podem informar d'aquesta experiència (al menys, fins a que despertem). La conducta intel·ligent s'ha considerat sempre una prova de consciència, encara que molts animals són capaços de conductes complexes, apreses i no estereotipades que identificaríem com conscients si les fes un humà (Tononi i Koch, 2014).

Chalmers (citat a Goertzel, 2014) va caracteritzar el “problema difícil de la consciència” com la dificultat per a connectar la experiència subjectiva (“**qualia**”) amb factors empíricament observables. Però de fet, aquest és un problema filosòfic i no científic, doncs allò que és subjectiu no és observable, quedant fora de l'abast de la ciència positiva. Deixant aquest problema als filòsofs, els científics s'han de conformar (que no és poc) amb una resposta consistent amb la experiència, conceptualment coherent i parsimoniosa sobre la natura bàsica de la consciència (Goertzel, 2014).

Fa més de cent anys, William James va vincular consciència i atenció. Encara que avui en dia s'admet plenament la seva diferència conceptual, fins fa molt poc no ha quedat clara la seva dissociació, mentre que s'admetia la possibilitat de processos atencionals inconscients (Pitts, Metzler i Hillyard, 2014). William James va caracteritzar el que anomenava “corrent de consciència” com format per continguts (parts substantives) i períodes temporals entre aquests (parts transitives). Northoff (2014) descriu les darreres, que permeten la integració temporal de les primeres, com un equilibri entre la continuïtat sensible (el que permet assumir la idea d'identitat conservada al llarg del temps) i el canvi continu (el que ens permet tenir una percepció interna del pas del temps). Aquestes dues percepcions internes poden estar vinculades a les diferents freqüències d'activitat cerebral presents a l'estat de repòs, i podrien estar afectades en trastorns com la depressió o la esquizofrènia, que poden ser conceptualitzades com trastorns de la percepció conscient del temps (Northoff, 2014).

D'aquesta caracterització de la consciència com a capacitat d'adonar-se d'allò percebut sorgeix el concepte de consciència **perceptual**, l'estudi de la qual és accessible mitjançant paradigmes de recerca psicofísics, tenint en compte que una part de la percepció és inconscient (és subliminal, és a dir, no arriba a un llindar conscient).

La consciència perceptual es pot entendre com el producte d'una integració multisensorial, qualitativament superior a la suma de sensacions aïllades, que dona lloc a una experiència unitària (Faivre, Salomon i Blanke, 2015).

Dehaene et al. (2014) aporten definicions precises, bàsiques per a descriure eficaçment allò al que ens referirem en cada moment, dels conceptes relacionats: l'**accés conscient** és el procés pel qual una informació passa a ser **contingut** de la consciència, és a dir, informació de la que som conscients en un moment determinat. L'**informe conscient** és el procés pel qual aquest contingut pot ser descrit o comunicat, constituint l'únic medi per a verificar l'accés conscient d'una informació donada. L'**estat de consciència**, associat a termes com vigília, es determina per la capacitat per a mantenir el contingut de la consciència, especialment baixa en el son profund i en situacions d'anestèsia, coma o estat vegetatiu.

L'**autoconsciència** és l'accés conscient dels estats interns. Mitjançant l'autoconsciència corporal referim les vivències experimentades al nostre propi cos, adreçades a nosaltres mateixos, experimentant la sensació de posseir el nostre cos i d'estar immersos en l'espai; percebem el món en primera persona (Faivre et al., 2015).

Goertzel (2014) recorda que tampoc els físics coneixen les propietats essencials del temps i l'espai, el que no els ha impedit formular aproximacions molt acurades de la realitat que ens envolta. De la mateixa manera, es pot operacionalitzar la recerca sobre la consciència, estudiant quines són les seves propietats fonamentals (específicament les que ens caracteritzen com humans) abans d'aspirar a entendre plenament el que és.

La consciència no és un producte de la simple agrupació: encara que el cerebel té un nombre superior de neurones que el sistema talamocortical, no està involucrat en la experiència conscient, a diferència d'aquest. Tampoc és un producte de l'activitat, doncs el cervell roman actiu durant la son NREM, i especialment actiu durant els intensos atacs epilèptics que provoquen en ocasions pèrdua de consciència (Oizumi, Albantakis i Tononi, 2014).

Una nova aproximació a la consciència es basa en la seva capacitat, crucial per a Dijker (citat a Kotchoubey, 2014) de generar **representacions** no esbiaixades d'objectes i les seves propietats, anticipant els seus aspectes instrumentals. Les eines contenen elements relacionals no només amb el subjecte sinó amb altres objectes, i les seves representacions poden constituir un tipus de consciència particular (Kotchoubey, 2014).

## Correlats neurals de la consciència

Els correlats neurals de la consciència (NCC), segons Crick i Koch, es poden definir com els mecanismes neurals que formen un conjunt mínim suficient per a generar consciència (Raffone, Srinivasan i Van Leeuwen, 2014). Per tant, la estimulació directa dels NCC produirà la experiència conscient associada, i el seu bloqueig impedirà que aquesta tingui lloc (Tononi i Koch, 2014). No obstant, s'ha de tenir en compte la intensa interacció entre les àrees cerebrals: per exemple, una lesió a un àrea cortical que no formi part d'un NCC pot provocar pèrdua de consciència, degut al desequilibri entre excitació i inhibició que es pot produir en zones no afectades del sistema talamocortical (Sarasso et al., 2014).

Quan es compara l'activitat neural entre les condicions inconscient i conscient d'un paradigma perceptiu, es poden detectar canvis corresponents a processos diferents dels estrictament constitutius de la percepció conscient: els **prerequisits**, necessaris però no suficients, i les **conseqüències** neurals (o processos postperceptuals), suficients però no necessàries. En absència de consciència, no s'inicien els processos que permeten el reconeixement de l'estímul, la seva codificació a la memòria de treball, ni l'accés per a l'informe perceptual; processos que sí tenen lloc un cop l'estímul ha estat percebut conscientment (Pitts et al., 2014).

## Paradigmes de recerca

La percepció visual conscient ha estat un dels camps on més s'ha investigat, gràcies a diferents paradigmes que permeten mesurar els canvis entre la percepció subliminal (inconscient) i la conscient sense modificar els estímuls visuals en les dues condicions experimentals. L'estudi de la percepció inconscient permet refutar eficaçment els marcs teòrics posats a prova: si un índex d'activitat associat exclusivament a una percepció conscient per una teoria determinada és registrat a una percepció inconscient, aleshores la teoria és incorrecta.

El paradigma d'emascarament visual consisteix en la presentació d'una segona imatge (màscara) immediatament després d'una molt breu presentació de la imatge blanc, disminuint la visibilitat d'aquesta (Raffone et al., 2014). El paradigma de supressió perceptual induïda pel decrement del contrast de l'estímul permet modificar la visibilitat d'una imatge manipulant de forma contínua el seu contrast, fent el seu contingut accessible a la consciència o no mantenint el nivell de procés perceptual. Aquest procediment té l'avantatge de no introduir interaccions competitives entre diferents representacions sensorials, com les de la imatge blanc i la màscara (Vidal et al., 2014).

El paradigma de ceguesa atencional, segons el qual la segona de dues imatges presentades seqüencialment durant un temps molt breu no és percebuda conscientment, permet estudiar la interferència de processos diferents de l'atenció en la percepció, amb variants com la ceguesa no atencional o la ceguesa de repetició. L'estudi de lesions com la heminegligència ha permès estudiar la condició clínica de visió a cegues, segons la qual el pacient respon a estímuls visuals que no percep conscientment (Raffone et al., 2014). El paradigma d'apinyament permet reduir la visibilitat d'una paraula incloent-la en un espai reduït permetent estudiar la seva percepció no conscient (Dehaene et al., 2014)

El paradigma de rivalitat binocular consisteix en la presentació simultània de dues imatges diferents a cada retina. No es fusionen en una, sinó competeixen per l'atenció conscient. No obstant això, és complicat predir, tant pel subjecte com per l'experimentador, quina de les imatges serà percebuda conscientment i durant quin temps. La variació anomenada supressió contínua per impulsos ha permès perllongar en el temps la percepció subliminal fins a un període d'alguns minuts degut al superior contrast de la imatge utilitzada com a màscara (Sterzer et al., 2014).

## **Marc teòrics**

La comprensió de la consciència no requereix tan sols dades empíriques, sinó marcs teòrics que proporcionin una base explicativa, inferencial i predictiva que permeti donar cabuda a les evidències observades (Oizumi, Albantakis i Tononi, 2014). La multiplicitat de marcs teòrics proposats, no obstant, pot indicar que facin referència a diferents aspectes de la mateixa realitat complexa (Goertzel, 2014).

Segons la **Global Workspace Theory** (GWT) de Bernard J. Baars, els continguts representats inconscientment en diferents mòduls cerebrals són elaborats mitjançant funcions cognitives com la memòria de treball i l'atenció, i posteriorment compartits en una xarxa global que permet l'accés conscient als continguts. No obstant, no queda clar si aquest accés conscient està relacionat amb la consciència fenomènica, entesa com a experiència (Raffone et al., 2014). La metanàlisi de Meneguzzo et al. (2014) recolza aquesta teoria, argumentant que la escorça cingular anterior esquerra (involucrada, com la insula i l'escorça visual, en el processament inconscient dels estímuls) pot actuar com punt d'entrada cap a l'escorça prefrontal i activar els processos conscients que donarien lloc als continguts autorelevants i compartits en l'espai de treball.

La GWT postula que la transició entre el procés conscient i l'inconscient queda marcada per un gran increment no lineal ("ignició") en l'activitat de xarxes corticals distants (que inclouen les regions frontoparietals) que permeten la distribució a tot el cervell del contingut conscient per a ser utilitzat de forma flexible per altres sistemes com el llenguatge, la memòria, el control executiu i l'acció voluntària (Pitts et al., 2014).

La teoria **Global Neuronal Workspace** (GNW) de Dehaene i col·laboradors ha suposat una materialització de la GWT en l'espai concret del sistema nerviós, integrant els descobriments de la neurociència sobre les seves característiques estructurals i funcionals, tenint en compte la plausibilitat dels processos en un sistema neuronal real. Això suposa assumir la natura digital (tot o res) dels estats neuronals i l'arquitectura massivament paral·lela del cervell, essent necessària una intensa i sostinguda taxa d'estimulació neuronal per a que el contingut representat arribi a la consciència (Raffone et al., 2014). Un cop aquesta informació esdevé contingut conscient, és compartida per un grup d'àrees d'alt nivell, primàriament l'escorça prefrontal dorsolateral, l'escorça parietal inferior, l'escorça temporal medial i el precuneus (Dehaene et al., 2014). Aquesta xarxa d'intercanvi permet manipular la informació de forma flexible, atenent a les instruccions voluntàries i conscients, fora dels modes de funcionament estereotipats i rígids propis del processament no conscient.

Bachmann i Hudetz (2014) en la seva reflexió teòrica, conceptualitzen la consciència com el producte d'una interacció entre els mecanismes neurals que gestionen el nivell d'activació i els que permeten la representació mental dels continguts. A partir d'una revisió dels treballs més recents sobre aquest objecte d'estudi, plantegen la hipòtesi de que la consciència necessita **simultàniament** d'unes **dades** (contingut conscient) i d'un nivell d'**activació** (estat conscient). Un baix nivell d'activació (induït, per exemple, mitjançant anestèsics) pot produir una pèrdua de consciència que, sempre que la dosi no sigui excessiva, es pot contrarestar mitjançant una elevada estimulació sensorial. De la mateixa manera, una escassa estimulació (per exemple, mitjançant aïllament sensorial) pot produir pèrdua de consciència. Aquesta interacció és explicable per les capacitats integradores de les neurones piramidals de la capa 5 (Bachmann i Hudetz, 2014).

La **Dynamic Core Hypothesis** (DCH) de Tononi i Edelman planteja que les característiques que determinen la emergència de la consciència són, per un costat, la segregació o especialització en el processament de determinats continguts per regions interconnectades del cervell i, per un altre, la integració o capacitat per a unir informació especialitzada de diverses regions distants. Com a conseqüència, les xarxes neuronals haurien de posseir característiques estructurals com un elevat coeficient d'agrupament a nivell local, el que indicaria una elevada segregació, i una reduïda longitud característica de camí, el que indicaria una elevada integració.

La teoria de grafs permet calcular aquestes variables en models matemàtics i informàtics de xarxes neuronals reals, i estimar el comportament de la xarxa simulant lesions en aquests models, eliminant nodes (somes) o connexions (axons). Bakouie, Gharibzadeh i Towhidkhah (2014) van avaluar el coeficient d'agrupament i la longitud característica de camí del subsistema talamocortical de la base de dades CoCoMac (que recull les connexions anatòmiques del cervell del macac), trobant que acomplia millor aquests requisits que la xarxa cortical per si sola. Segons aquest model, els processos unidireccionals poden explicar les funcions cognitives inconscients, i els recurrents, el procés conscient (citats a Raffone et al., 2014).



La **Integrated Information Theory** (IIT), al contrari de les aproximacions habituals en la neurociència, pren com a punt de partida el coneixement sobre la experiència fenomenològica de la consciència: cada experiència és específicament diferent, dotada d'un context espaciotemporal únic i irreductible als seus components. A continuació, postula les condicions a partir de les quals un sistema físic (definit com complex) pot generar aquesta experiència (definida com una estructura conceptual màximament irreductible), i genera prediccions sobre la capacitat del sistema de generar consciència, (entesa aquesta com una propietat emergent de les característiques del complex) trobant que és independent del grau d'activitat i de la complexitat del sistema. Defineix, de forma operativa, els axiomes de la experiència conscient, i els relaciona amb característiques (postulats) que ha de complir un substrat físic (neural o lògic) per a generar consciència: existència, composició, informació, integració i exclusió. Aquest marc permet calcular una variable continua que representa el **grau de consciència** d'un sistema (Oizumi, Albantakis i Tononi, 2014).

Les seves prediccions sobre l'associació entre la pèrdua de la consciència i la pèrdua de la integració en la informació compartida han estat confirmades per l'evidència experimental. Fins i tot ha inspirat el desenvolupament de mesures consistents de la consciència com l'intercanvi mutu d'informació simbòlica. Planteja que aquesta sincronització a llarga distància no té un objectiu merament comunicatiu entre estructures funcionals diferents que comparteixen informació, sinó que caracteritza el concepte amb el que es representa el contingut conscient (Dehaene et al., 2014). Aquesta teoria ha anat evolucionant, arribant darrerament a la seva tercera formulació, que inclou diferents formes d'integració dependent de l'estat del sistema (Oizumi, Albantakis i Tononi, 2014).

La IIT explica el desenvolupament d'una consciència percebuda com unitària, degut a que les interaccions entre els elements (neurons) configuren un conjunt conscient en un grau màxim que minimitza les aportacions de conjunts amb graus molt més reduïts. No obstant, un canvi important en la estructura (com una divisió quirúrgica) pot crear dos conjunts amb graus similars de consciència, el que implica el sorgiment de dues experiències conscients independents, no conscients una de l'altra. Aquesta predicció es correspon amb observacions clíniques (Gazzaniga, citat a Oizumi, Albantakis i Tononi, 2014). Aquest mecanisme de sorgiment de sistemes conscients a partir d'una divisió estructural també explica els trastorns dissociatius, on una divisió funcional pot produir aquestes alteracions de la consciència, en aquest cas reversibles.

El fet de que, segons la IIT, una xarxa unidireccional (*feed forward*) no generi consciència pot explicar el que processos complexes com el reconeixement semàntic puguin ser inconscients o bé ser mínimament conscients però desenvolupar-se al marge del procés principal amb un grau molt superior de consciència i, per tant, quedar fora de la experiència conscient (Oizumi, Albantakis i Tononi, 2014). La organització anatòmica i fisiològica del cerebel, en la qual petits mòduls processen dades de forma independent uns dels altres, explica el fet de que aquest òrgan no intervingui en la generació de consciència.

Pacients que perden gran part o gairebé tot el seu cerebel no experimenten alteracions de consciència, a pesar de que aquest òrgan conté 69 dels 86 billons de neurones del cervell (Tononi i Koch, 2014). En canvi, les diferents àrees de l'escorça cerebral, a pesar d'estar funcionalment especialitzades, intercanvien informació de forma ràpida i efectiva (Oizumi, Albantakis i Tononi, 2014). La IIT explica perquè, encara que poden influir el contingut de la experiència, ni les aferències sensorials ni les eferències motores participen en la experiència conscient (Tononi i Koch, 2014).

La pèrdua de consciència aparellada amb el patró de funcionament cerebral altament sincronitzat que caracteritza el son profund, l'anestèsia i les crisis epilèptiques pot ser explicada pel canvi funcional en la connectivitat que comporta el funcionament homogeni. Una altra predicció de la IIT és la generació de consciència en xarxes inactives, amb elements inactius, o en els quals no ens transmet informació, amb la condició de que estiguin preparats per a respondre i participar en un possible canvi d'estat del sistema. Això pot explicar l'absència de continguts conscients en estats meditatis profunds en els quals la experiència conscient és especialment intensa (Oizumi, Albantakis i Tononi, 2014).

La IIT prediu la generació de consciència mínima (limitada a un sol concepte) en el cas d'un diode fotoelèctric, i la no consciència en el cas d'una xarxa molt complexa però exclusivament unidireccional (*feed forward*). Explica l'absència de consciència de les màquines actuals, doncs un programa que superés el test de Turing no tindrà consciència si la seva arquitectura és exclusivament unidireccional (Tononi i Koch, 2014). És especialment remarcable el fet de que una xarxa unidireccional pot desenvolupar qualsevol tipus de procés, però una xarxa conscient serà capaç de fer-ho amb una notable economia de recursos (Oizumi, Albantakis i Tononi, 2014). Goertzel (2014) aventura una possible consciència global, resultant de l'agregació entre persones i màquines permanentment interconnectades mitjançant Internet, la no existència de la qual constitueix un fet empíric. La IIT resol aquest problema, doncs prediu que no es crea una consciència superior simplement agregant elements similars, si no es supera el grau màxim de integració local aconseguit a cadascú dels elements agregats. Respon a la pregunta de si un sistema simulat pot desenvolupar consciència, argumentant que una simulació no aconsegueix el principi fonamental que implica una realitat causal irreductible. De la mateixa manera, aquesta simulació es podria produir sobre màquines que no poguessin generar consciència de forma real (arquitectura unidireccional), pel que la simulació tampoc (Tononi i Koch, 2014).

El més rellevant de la IIT és que aporta explicacions que superen el principi de parsimònia. Segons aquesta teoria, la consciència és una propietat intrínseca d'alguns sistemes, caracteritzada per experiències que són al seu cop estructures irreductibles dintre d'un espai conceptual regit per lleis causals. La capacitat d'adaptació dels sistemes conscients és superior donat que poden integrar més informació i caracteritzar més regularitats del seu entorn i, per tant, aprofitar-se'n. Això fa que la selecció natural hagi afavorit els sistemes conscients. La consciència és contínua i gradual, influïda per l'establiment, la força o la interrupció de les connexions entre les neurones.

El grau de consciència és una funció matemàtica determinada pel nombre i l'arquitectura de les connexions entre les neurones, susceptible d'alteracions degut a canvis en l'arquitectura del sistema derivats de divisions i agregacions físiques però no de l'activació o inactivació dels seus elements (Tononi i Koch, 2014).

Potser la seva limitació més important és no poder explicar com processos que teòricament generen consciència (globalment compartits, que utilitzen la recursivitat i la retroalimentació) no van acompanyats sempre d'una experiència conscient (Dehaene et al., 2014). Miller (2004) para atenció en que la IIT es centra en els elements constitutius de la experiència conscient en base al seu potencial causal, independentment del seu estat d'activació, mentre la definició dels correlats neurals de la consciència té en compte exclusivament als elements actius.

### **Problemes metodològics, tècnics i ètics de la recerca**

Un problema metodològic de primer ordre en l'estudi de la consciència és la necessitat d'aïllar els mecanismes inherents a la percepció conscient d'aquells implicats en la resposta verbal o no verbal que constitueix la comunicació (i la prova) de l'experiència conscient (Sterzer et al., 2014). L'estudi de la consciència ha de tenir cura en la interpretació de les evidències obtingudes per a no confondre el processament conscient amb els requisits previs de la consciència o les seves conseqüències (Safavi, 2014). Pitts, Metzler i Hillyard (2014) van aconseguir solucionar aquest problema amb un disseny de recerca en el qual van manipular la presentació conscient o inconscient de l'estímul blanc i la rellevància de la seva percepció per a la tasca que s'estava realitzant en el moment de la presentació, aïllant els processos involucrats en la comunicació de la percepció conscient.

Aquesta necessitat d'informe de la experiència fenomenològica implica la limitació dels subjectes a aquells que puguin informar d'aquesta, deixant de banda màquines, animals, nens petits i persones amb dificultats de comunicació per dany cerebral o una altra condició clínica (Oizumi, Albantakis i Tononi, 2014). Es poden plantejar qüestions sobre la precisió d'aquests informes, la variabilitat de la consciència entre els subjectes informants i la possibilitat de que existeixi un estat de consciència del qual no es pugui informar.

Un altre problema és la dificultat per a constatar fins a quin punt els informes dels subjectes reflecteixen de forma fidedigna la experiència derivada d'una percepció dubtosa, degut a la existència d'un biaix de resposta propi de cada subjecte. Alguns poden informar com a estímuls visibles només aquells molt clarament visibles, i uns altres tots aquells que superin un cert nivell de certesa. En canvi, aquesta detecció es podria definir operativament com un nivell d'encerts per a detectar l'estímul significativament per sobre del que cabria esperar per atzar.

Naturalment, aquests encerts no haurien de ser provocats per processos inconscients (Sterzer et al., 2014).

Una de les assumpcions de l'estudi de la consciència és considerar que durant l'experiment no s'ha produït una experiència conscient de la qual no es pugui informar, o que tots els correlats de la consciència estan connectats en aquell moment a l'informe del subjecte (Gamez, 2014b). Aquestes assumpcions, basades en la filosofia, limiten les teories que poden ser ideades per a emmarcar les observacions realitzades, i fins i tot els sistemes que poden produir consciència. Una altra assumptió és que els models de funcionament del cervell que detectem en els experiment (senyals BOLD, EEG, etc.) permeten detectar els canvis que poden indicar la presència o absència de consciència. En un treball teòric exhaustiu, Gamez (2014b) separa conceptualment els correlats neurals de la consciència dels elements que poden intervenir en els processos conscients però no poden ser considerats a priori com a tals.

Una altra precisió seria la distinció entre els correlats neurals de la consciència i els seus elements constitutius, que no tindrien per què coincidir i de fet podrien formar conjunts diferents (Miller, 2014). L'objectiu de la recerca no és trobar correlats mínimament suficients, sinó separar els constitutius dels no constitutius, reconeixent, no obstant, que aquesta identificació permet que la recerca sigui empíricament tractable. És complicat diferenciar la variabilitat produïda per la percepció conscient d'aquella que pot ser producte de diferències en l'atenció, la confiança en la discriminació de l'estímul, el processament inconscient o el grau d'introspecció (Navajas, Rey i Quian Quiroga, 2014). De fet, és matèria de debat si això és realment possible.

Un altre problema és la necessitat de fer servir els mateixos estímuls en les presentacions conscients i inconscients. En cas de que aquestes darreres s'emmaskin, serà necessari afegir soroll a la imatge processada conscientment per a igualar el processament addicional que impliquen les màscares emprades. Les diferències en luminància, contrast i distribució espacial de freqüències poden comportar grans canvis en l'activitat neuronal. Una constant és la variabilitat individual en la capacitat per a percebre conscientment un mateix estímul, pel que seria desitjable ajustar la visibilitat de l'estímul de forma que aquest fos conscient a la meitat dels assajos (Navajas, Rey i Quian Quiroga, 2014).

S'ha de controlar la natura dels estímuls utilitzats, doncs alguns (per exemple, degut a un significat emocional rellevant pel subjecte) podrien accedir a la consciència amb més facilitat que uns altres amb el mateix protocol d'emmaskament, produint un processament conscient no registrat com a tal. Les particularitats de certs objectes lligats a accions com, per exemple, eines, pot fer que les seves imatges puguin accedir a representacions mentals inconscients que no activarien uns altres objectes, si bé aquest efecte es podria deure a la major capacitat per a discriminar certes formes (Sterzer et al., 2014). En el cas d'una supressió perceptual, una supressió insuficient podria fer que l'estímul fos processat conscientment i els resultats fossin interpretats en clau de la preservació del processament en absència de consciència.

Pel contrari, una supressió excessiva podria abolir tot processament, interpretant aleshores que un processament inconscient seria impossible quan sí ho hauria estat amb un estímul més intens però encara no percebut conscientment (Sterzer et al., 2014). Un altre problema és la duració dels efectes del processament inconscient i el lapse de temps fins que es registra la resposta que, si és superior a aquesta duració, podria generar falsos negatius. Això es podria solucionar mesurant respostes simultànies a la estimulació a partir de, per exemple, la observació continua dels moviments oculars (Sterzer et al., 2014).

Per a finalitzar, els estudis amb models causals dinàmics són necessàriament limitats, doncs no poden tenir en compte totes les possibles correlacions (Moratti et al., 2013). Un altre problema, relacionat amb la recerca en nous marcs teòrics, és la dificultat per a formular hipòtesis que siguin falsables empíricament i, per tant, susceptibles de generar coneixement científic (Popper, citat a Gamez, 2014a). La possibilitat de caracteritzar els estats de computació del cervell i d'identificar els correlats de la consciència com processos executats en autòmats d'estats combinatoris està molt lluny de les possibilitats actuals de la ciència (Gamez, 2014a).

### **Estat actual del coneixement sobre els NCC**

Els candidats a CNC que la recerca ha identificat fins ara no han resultat concloents: pot haver consciència sense la intervenció de l'escorça frontal, pot haver activitat EEG en la banda gamma sense consciència (com durant l'anestèsia) i pot haver consciència durant els somnis sense que es registri el senyal frontal P300. Alguns pacients amb dany cerebral que es poden comunicar no mostren aquest senyal. Alguns altres, en canvi, mostren marcadors electrofisiològics de consciència en illes aïllades de teixit cerebral que no són suficients per a mantenir cap activitat (Tononi i Koch, 2014). Tant l'activitat en la banda gamma com el senyal P300 no eren presents en una condició experimental en la qual l'estímul blanc havia estat percebut conscientment però no era rellevant per a la tasca realitzada en el moment de la presentació, pel que no calia informar de la seva percepció. En canvi, sí van ser presents quan la tasca era rellevant, el que confirma que es tracta de **conseqüències** de la percepció conscient, suficients però no necessàries (Pitts et al., 2014).

Un dels **prerequisits** de la consciència és l'atenció espacial, com demostra la impossibilitat dels pacients amb heminegligència per a ser conscients dels estímuls presentats a l'hemisferi contralateral a la lesió (Chica et al., 2012). Aquests investigadors van posar de relleu el paper del camp visual frontal esquerre en la facilitació atencional de la percepció visual conscient. Mitjançant estimulació magnètica transcranial (TMS), van confirmar la contribució causal d'aquesta àrea per a facilitar l'accés conscient dels estímuls visuals precedits per indicacions vàlides (Chica et al., 2012).

El metabolisme de les neurones no es correlaciona amb la consciència; les crisis epilèptiques lligades a pèrdua de consciència provoquen una elevada activitat metabòlica, i pacients neuropsicològics surten de l'estat vegetatiu sense canvis rellevants en el seu metabolisme cerebral. La pèrdua de consciència lligada al son NREM, l'anestèsia i les crisis epilèptiques es correlaciona amb oscil·lacions espontànies sincronitzades en la banda gamma, el que implica que aquestes tampoc son marcadors de la consciència (Sarasso et al., 2014). Els estudis amb anestèsics han mostrat una sobtada fragmentació de la organització global de l'activitat neural en el moment de la pèrdua de consciència (Lewis et al., citats a Dehaene et al., 2014), possiblement degut a una activitat alfa originada a l'escorça prefrontal. L'accés conscient provoca de forma consistent una sincronia entre l'**escorça prefrontal i occipital** en la banda beta. Encara que sembla una condició necessària per a la consciència, no és suficient, doncs també es pot donar en condicions d'inconsciència (Dehaene et al., 2014).

Al llarg del temps, s'ha demostrat que els processos inconscients són complexos i profunds, implicant fins i tot l'assignació de significat i de valor, com al famós experiment de Pessiglione et al. (citats a Dehaene et al., 2014) sobre el poder motivacional de monedes de diferents valors no percebudes conscientment. Tant les àrees dorsals com les ventrals són activades per processos inconscients, el que refuta algunes hipòtesis que vinculaven el processament conscient a la via ventral. De la mateixa forma, la evidència experimental ha permès dissociar atenció i consciència, que ara es conceptualitzen com processos independents. Els processos de detecció d'errades, alternança de tasques, automonitoratge i estimació de confiança poden ser també inconscients, demostrant que l'executiu central pot operar al marge de la consciència. Al menys es poden iniciar de forma no conscient, encara que difícilment conclouen sense la intervenció conscient. De forma que de l'anterior conceptualització de la consciència com una assignació de recursos derivada de la superació d'un llindar d'activació estimular (d'aquí el nom subliminal), s'ha evolucionat cap a una amplificació de les senyals degut a una ignició global que implica un elevat nivell d'activitat.

Un increment lineal en l'activació implicada en la percepció subliminal pot anar seguida (si el procés emergeix a la consciència) d'una amplificació no lineal, qualitativament diferent, en les àrees **prefrontal, cingular i parietal**. Aquest patró ha estat detectat en nens de fins a 5 mesos (Dehaene et al., 2014). La pèrdua de consciència que Koubeissi et al. (2014) van produir a una pacient epilèptica mitjançant estimulació elèctrica intracranial va ser consistentment acompanyada per una correlació significativa en la sincronia entre l'activitat mesurada per EEG entre l'**escorça parietal medial** i la **frontal posterior**.

L'article de Koubeissi et al. (2014) va tenir una forta repercussió mediàtica a mitjans de l'any passat, doncs descrivia un àrea molt petita del cervell (una zona entre el **claustrum** i la **ínsula anterior dorsal esquerra**) que permetia, mitjançant una estimulació elèctrica amb polsos bifàsics de 50 Hz i 14 mA, provocar una pèrdua de consciència instantània, reproduïble i reversible (com l'acció d'un interruptor).

Encara que l'únic subjecte experimental era una pacient epilèptica (per tant, amb una funció cerebral alterada), i aquest descobriment casual necessitaria de confirmació de les observacions en subjectes sans, aquest estudi va permetre identificar un àrea cerebral molt concreta que exerciria una funció necessària (possiblement, no suficient) per a mantenir l'estat de vigília. Navajas, Rey i Quian Quiroga (2014) van descobrir, mitjançant la implantació intracranial d'electrodes a pacients epilèptics, que algunes neurones del lòbul **temporal medial (cèl·lules concepte)** responien de manera molt selectiva al reconeixement, essent activades tant per imatges d'una persona com pel seu nom escrit o escoltat, però exclusivament com a resultat d'un reconeixement conscient. Vidal et al. (2014) van mesurar, també amb subjectes epilèptics, l'activitat cerebral mitjançant elèctrodes implantats. Van trobar que l'activació gamma en resposta a la percepció visual conscient es detectava abans a la **ínsula anterior** i al **gir frontal inferior**, suggerint una activació facilitadora d'aquestes àrees vinculada a la consciència.

Moratti et al. (2013) van investigar les senyals que produïen la percepció gestàltica de formes inicialment difícils de reconèixer com un tot (figures de Mooney). Les seves observacions van mostrar un acoblament oscil·latori en la banda gamma (55-71 Hz). Les correlacions obtingudes es van analitzar amb models causals dinàmics (DCM), mostrant una elevada probabilitat de que l'acoblament gamma entre l'**escorça parietal i fusiforme** induís una sincronització de l'activitat gamma en l'**escorça visual primària**, explicant els mecanismes *top-down* ben coneguts pels psicòlegs de la percepció. Nikolaev et al. (citats a Raffone et al., 2014) van descobrir que la quantitat d'informació intercanviada entre àrees cerebrals és directament proporcional a la duració del interval de coherència, o lapse d'activitat sincronitzada. Els estudis de Varela (citats a Raffone et al., 2014) basats en la seva aproximació neurofenomenològica han permès acumular evidències sobre la implicació positiva de l'activitat sincronitzada d'àrees cerebrals distants i la experiència subjectiva de consciència.

Axelrod et al. (2014) van demostrar que el processament inconscient del llenguatge implica l'activació de regions específiques com el gir frontal medi esquerre. Encara que una activació frontal sembla incompatible amb la GWT, s'ha de tenir en compte que aquesta activació es limita a àrees molt concretes relacionades amb la natura especial del processament del llenguatge, que implica àrees diferents del control cognitiu (Axelrod et al., 2014). La integració multisensorial a alt nivell (fins al nivell semàntic) es pot produir en absència de percepció conscient (Faivre et al., citat a Faivre, Salomon i Blanke, 2015).

Frässle et al. (citats a Safavi et al., 2014) van fer notar que l'activació dels lòbuls frontals semblava estar relacionada amb la introspecció i l'informe de la percepció conscient més que a aquesta percepció. Els estudis de lesions i d'inactivació temporal d'aquesta àrea mostren que d'alguna manera està implicada. Experiments anteriors van implicar l'escorça prefrontal esquerra en el processament conscient sense conducta d'informe, però sense poder esbrinar si aquesta activació era resultat o no d'un monitoratge interior (Safavi et al., 2014).

De totes maneres, queda pendent esbrinar si és possible ser conscient d'alguna cosa sense reflexionar sobre això (Zaretskaya i Narinyan, 2014).

## Mesures de l'estat de consciència

S'han posat a prova diferents instruments, elaborats a partir d'electroencefalograma (EEG), per a caracteritzar objectivament diferents estats de consciència i discriminar entre pacients conscients, en estat vegetatiu, en estat de mínima consciència i controls sans. La utilitat d'aquests marcadors no sols és evident en la clínica neuropsicològica, sinó també en la monitorització de pacients sotmesos a intervencions quirúrgiques. Un dels marcadors amb major potencial discriminant va ser la complexitat del senyal registrat, i la estabilitat d'aquesta complexitat al llarg dels 30 minuts del registre. Un altre va ser la connectivitat funcional en la banda theta (4 a 8 Hz) entre àrees distants, amb un efecte màxim sobre les àrees mesioparietals (Sitt et al., 2014).

Casali et al., (citats a Dehaene et al., 2014) van predir el nivell de vigília (assimilable a l'estat de consciència) mesurant la complexitat dels potencials evocats com a resultat d'una TMS de pols simple (no relacionats amb cap estímul sensorial). La mesura de la complexitat es va basar en la compressibilitat de les dades (un correlat de la seva entropia). King et al. (citats a Dehaene et al., 2014) van mesurar la informació simbòlica mútua ponderada entre àrees corticals distants per a discriminar amb èxit entre pacients en estat vegetatiu i pacients amb mínima consciència.

Sarasso et al. (2014) van desenvolupar un instrument discriminatori de l'estat de consciència que fos independent tant del processament sensorial (necessari per a introduir dades a la consciència) com del processament motor (necessari per a comunicar la experiència conscient), basant-se en dues propietats ben establertes de la consciència: la **integració** i la **informació**. La integració comporta una comunicació entre àrees diferents que fa que la informació generada pel sistema sigui superior a la suma de les informacions de les parts preses individualment. La informació comporta una diferenciació en els estats de les parts del sistema, que tenen un gran repertori de possibilitats i per tant generen una gran quantitat d'informació.

Després d'un canvi local d'estat, una pèrdua d'integració suposaria una reduïda connectivitat dels impulsos induïts. En canvi, una pèrdua de diferenciació suposaria una extensió de l'activitat que es traslladaria a altres parts del sistema de forma homogènia. La pèrdua de consciència es pot caracteritzar com una disminució en la integració del sistema (que faria que el sistema es fragmentés en mòduls causalment independents), com una disminució en la informació del sistema (que faria que el repertori d'estats possibles es reduís) o en totes dues.



La capacitat de la TMS per a induir interaccions causals de forma reversible, segura i èticament responsable (no causades per un mecanisme perceptiu, per tant, independents d'aquests), i la capacitat de l'electroencefalograma per a mesurar la intensitat i l'abast de les pertorbacions produïdes amb una formidable resolució temporal (i una suficient resolució espacial) permeten caracteritzar les respostes associades a les condicions d'integració i informació mencionades en subjectes amb diferents estats de consciència (Sarasso et al., 2014).

Durant la vigília, les pertorbacions generades per la TMS mostren un perfil complex (ric en informació) i distribuït per diverses àrees corticals (integrat). El mateix perfil té lloc en la son REM, i perfils molt similars es mostren en pacient en estat mínimament conscient i amb la síndrome d'enclaustrament. En canvi, en la son NREM, el patró (molt similar al de l'anestèsia i l'estat vegetatiu) mostra una manca d'integració a baix voltatge, i d'informació a alt voltatge: la pèrdua de consciència implica la impossibilitat de mostrar patrons de pertorbació complexos i distribuïts.

L'índex de complexitat pertorbacional és una mesura matemàtica del nivell de consciència que avalua la compressibilitat de les dades obtingudes per EEG com a resultat d'una pertorbació induïda per TMS. És una mesura objectiva, que no depèn de la capacitat ni de la voluntat dels subjectes a percebre ni a reaccionar a la seva percepció, i independent de la etiologia clínica i de l'activitat espontània. El fet de que sigui una magnitud contínua la fa útil per a registrar canvis en l'estat de consciència d'un pacient amb dany cerebral, permetent aportar dades per a establir un pronòstic (Sarasso et al., 2014).

## **Patró temporal**

L'estudi de potencials relacionats amb esdeveniments (ERP) ha permès descobrir una negativitat en la banda gamma als 200 ms de la presentació de l'estímul correlacionada amb la percepció conscient d'aquest, i una positivitat als 300 – 400 ms que pot correlacionar amb l'accés conscient (Raffone et al., 2014). No obstant això, els canvis primerencs en la banda gamma també poden ser evocats per estímuls subliminals, i Dehaene et al. (2014) informen d'operacions complexes que segueixen aquest patró temporal però no són conscients. Gaillard et al. (citats a Dehaene et al., 2014) van establir que la percepció conscient informada és pot predir calculant la suma de la intensitat gamma mesurada 100 a 300 ms abans de la presentació de l'estímul (biaix perceptual) i 250 a 450 ms després (evocació estimular). Pitts, Metzler i Hillyard (2014) van obtenir uns valors de 200 a 240 ms per a la negativitat correlacionada amb la percepció conscient. En canvi, el component positiu registrat de 380 a 480 ms semblava estava vinculat a la comunicació de la percepció conscient i no a aquesta pròpiament dita.

Vidal et al. (2014) van detectar una activació de l'escorça visual primària en la banda gamma 300 ms després de la visibilitat conscient d'una imatge prèviament ofuscada mitjançant manipulació del contrast, suggerint una facilitació *top-down* de la percepció visual. Pitts et al. (2014) van registrar una negativitat entre 200 i 300 ms, relacionada consistentment amb la percepció conscient de l'estímul blanc, independentment de si s'havia d'informar o no de la seva percepció. La negativitat associada a la percepció visual conscient es pot interpretar com un marcador de l'accés del contingut percebut a l'espai global de treball (Pitts et al., 2014).

Navajas, Rey i Quian Quiroga (2014), als seus estudis sobre el reconeixement facial, van observar una negativitat a l'escorça occipitotemporal dreta als 170 ms associada a la percepció conscient i el disparament de neurones selectives a l'hipocamp dret entre 300 i 400 ms, associat al que aquests autors anomenen consciència contextual, és a dir, la representació del concepte percebut a l'espai de treball compartit (GW). Kang et al. (citats a Sterzer et al., 2014) van trobar que el senyal negatiu als 400 ms que marca consistentment la incongruència entre dues paraules percebudes conscientment no era present quan aquestes eren emmascarades fins al punt de que els subjectes no podien discriminar el seu significat.

Sembla clar que el retard del senyal que discrimina l'accés conscient es deu a un procés de llarg abast, que implica àrees corticals i subcorticals distants, després del qual l'activació de les neurones concepte marca la formació d'una representació enriquida del contingut percebut (Navajas, Rey i Quian Quiroga, 2014).

## **Futures línies de recerca**

Les futures línies de recerca sobre la consciència poden estar relacionades, en l'aspecte teòric, amb la formidable potència de la IIT per a formular hipòtesis operatives que puguin ser comprovades o refutades experimentalment. La seva capacitat explicativa en base a un reduït nombre de postulats, i el fet de que la gran majoria de la evidència empírica siguin coherent amb els seus postulats fa pensar que pot ser una eina eficaç per a organitzar la recerca en els propers anys.

En l'aspecte experimental, el registre electroencefalogràfic obtingut mitjançant la implantació intracranial d'elèctrodes, que va permetre el descobriment de les cèl·lules concepte, ha fet possible localitzar un àrea minúscula capaç d'interrompre l'estat conscient de forma instantània i reversible. Aquest descobriment casual precisa de replicacions en subjectes amb diferents focus epilèptics (tenint en compte que els requeriments ètics impedeixen utilitzar aquesta tècnica en subjectes sans), que permeti confirmar la existència d'aquest mecanisme “**director d'orquestra**” hipotetitzat per Crick i Koch.

En cas afirmatiu, això implicarà un pas evolutiu important per als marcs teòrics utilitzats, que s'hauran de reformular i adaptar per a incloure aquesta evidència en el seu repertori d'explicacions.

En l'aspecte tècnic, l'aparició dels electroencefalògrafs digitals i la possibilitat aparellada d'avaluar la informació obtinguda en termes de complexitat i connectivitat permetrà refinar els nous instruments desenvolupats i idear d'altres nous amb millor potència discriminatòria i predictiva.

La resolució temporal del EEG, la resolució espacial de la implantació estereotàctica intracranial, la potència de les eines desenvolupades per a l'anàlisi de la informació obtinguda i la coherència del marc teòric de la IIT són elements que, sumats a la **creativitat, l'enginy i l'esforç** dels investigadors, aportaran nous coneixements que poden transformar la idea de consciència que tenim actualment.

## Conclusions

Encara que la intenció d'aquest treball va ser simplement copsar les darreres aportacions a l'estat del coneixement de la qüestió plantejada, hi ha una idea que, partint d'aquestes, ha sorgit amb força. Es tracta de la definició de la consciència com la experiència subjectiva producte d'una estructura funcional que, fent ús de la retroalimentació, permet incrementar enormement la **eficàcia** de procés de dades d'una xarxa amb una quantitat determinada de neurones.

Aquest punt de vista és perfectament compatible amb una visió **evolucionista** en la qual els subjectes dotats de consciència i capaços, per tant, d'aprofitar molt més eficientment la seva dotació neuronal mitjançant el desenvolupament de connexions recursives, es van poder adaptar millor al medi, aconseguint sobreviure en ambients molt hostils i acabant dominant el seu entorn mitjançant la tecnologia i la recerca científica.

Aquesta visió permet imaginar una futura evolució on formes com la consciència plena o la metac consciència (potser relacionades amb la saviesa?) sorgissin de forma natural i generalitzada, el que implicaria un increment de la capacitat de procés de dades aparellat amb noves experiències perceptives i conscients, que potser podrien fer possible l'abordatge de problemes filosòfics i científics fins ara irresolubles.

Per un altre costat, la formulació de la IIT i la seva constant actualització (actualment, en la seva versió 3.0) ha generat un marc explicatiu als fenòmens relacionats amb la consciència amb una gran capacitat de generar prediccions que poden ser refutades experimentalment. Al meu entendre, aquesta teoria (fins que no s'hagi desenvolupat una millor) pot aglutinar a un nombre important d'investigadors interessats en posar-la a prova, el que pot donar un impuls definitiu a la recerca sobre aquest apassionant objecte d'estudi.

## Bibliografia

- Axelrod, V., Bar, M., Rees, G., & Yovel, G. (2014). Neural Correlates of Subliminal Language Processing. *Cerebral Cortex*, bhu022. Recuperat el 2 de gener de 2015, a <http://cercor.oxfordjournals.org/content/early/2014/02/19/cercor.bhu022.full.pdf+html>
- Bachmann, T., & Hudetz, A. G. (2014). It is time to combine the two main traditions in the research on the neural correlates of consciousness:  $C = L \times D$ . *Frontiers in psychology*, 5. Recuperat el 2 de gener de 2015, a <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4141455/pdf/fpsyg-05-00940.pdf>
- Bakouie, F., Gharibzadeh, S., & Towhidkxah, F. (2014). On the robustness of consciousness neural correlates. *SCIENTIA IRANICA*, 21(3), 898-903. Recuperat el 2 de gener de 2015, a [http://www.sid.ir/en/VEWSSID/J\\_pdf/955201403D14.pdf](http://www.sid.ir/en/VEWSSID/J_pdf/955201403D14.pdf)
- Chica, A. B., Valero-Cabré, A., Paz-Alonso, P. M., & Bartolomeo, P. (2012). Causal contributions of the left frontal eye field to conscious perception. *Cerebral Cortex*, 24(3), 745-753. Recuperat el 2 de gener de 2015, a [http://www.researchgate.net/profile/Pedro\\_Paz-Alonso/publication/233750827\\_Causal\\_Contributions\\_of\\_the\\_Left\\_Frontal\\_Eye\\_Field\\_to\\_Conscious\\_Perception/links/02bfe5101c26ab3a6c000000.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Pedro_Paz-Alonso/publication/233750827_Causal_Contributions_of_the_Left_Frontal_Eye_Field_to_Conscious_Perception/links/02bfe5101c26ab3a6c000000.pdf)
- Dehaene, S., Charles, L., King, J. R., & Marti, S. (2014). Toward a computational theory of conscious processing. *Current opinion in neurobiology*, 25, 76-84. Recuperat el 31 de desembre de 2014, a [http://www.researchgate.net/publication/259519247\\_Toward\\_a\\_computational\\_theory\\_of\\_conscious\\_processing/file/9c96052c8a2c805a7d.pdf](http://www.researchgate.net/publication/259519247_Toward_a_computational_theory_of_conscious_processing/file/9c96052c8a2c805a7d.pdf)
- Faivre, N., Salomon, R., & Blanke, O. (2015). Visual consciousness and bodily self-consciousness. *Current opinion in neurology*, 28(1), 23-28. Recuperat el 2 de gener de 2015, a <http://infoscience.epfl.ch/record/203878/files/reprint.pdf>
- Gamez, D. (2014a). Can we Prove that there are Computational Correlates of Consciousness in the Brain?. *Journal of Cognitive Science*, 15(2), 149-186. Recuperat el 2 de gener de 2015, a <http://www.sussex.ac.uk/sackler/documents/can-we-prove-that-there-are-computational-correlates-of-consciousness-in-the-brain.pdf>
- Gamez, D. (2014b). The measurement of consciousness: a framework for the scientific study of consciousness. *Frontiers in psychology*, 5. Recuperat el 2 de gener de 2015, a <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4091309/pdf/fpsyg-05-00714.pdf>
- Goertzel, B. (2014). Characterizing Human-like Consciousness: An Integrative Approach. *Procedia Computer Science*, 41, 152-157. Recuperat el 2 de gener de 2015, a <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050914015439/pdf?md5=56483f2e6ef7169353df91304bd82047&pid=1-s2.0-S1877050914015439-main.pdf>

Kotchoubey, B. (2014). Objectivity of human consciousness is a product of tool usage. *Frontiers in psychology*, 5. Recuperat el 2 de gener de 2015, a <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4191348/pdf/fpsyg-05-01152.pdf>

Koubeissi, M. Z., Bartolomei, F., Beltagy, A., & Picard, F. (2014). Electrical stimulation of a small brain area reversibly disrupts consciousness. *Epilepsy & Behavior*, 37, 32-35. Recuperat el 2 de gener de 2015, a [http://www.rifters.com/real/articles/Koubeissi-et-al\\_Electrical-stimulation-disrupts-consciousness.pdf](http://www.rifters.com/real/articles/Koubeissi-et-al_Electrical-stimulation-disrupts-consciousness.pdf)

Meneguzzo, P., Tsakiris, M., Schioth, H. B., Stein, D. J., & Brooks, S. J. (2014). Subliminal versus supraliminal stimuli activate neural responses in anterior cingulate cortex, fusiform gyrus and insula: a meta-analysis of fMRI studies. *BMC Psychology*, 2(1), 52. Recuperat el 2 de gener de 2015, a <http://www.biomedcentral.com/content/pdf/s40359-014-0052-1.pdf>

Miller, S. M. (2014). Closing in on the constitution of consciousness. *Frontiers in psychology*, 5. Recuperat el 2 de gener de 2015, a <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4233945/pdf/fpsyg-05-01293.pdf>

Moratti, S., Méndez-Bértolo, C., Del-Pozo, F., & Strange, B. A. (2013). Dynamic gamma frequency feedback coupling between higher and lower order visual cortices underlies perceptual completion in humans. *NeuroImage*, 86, 470-479. Recuperat el 6 de setembre de 2014, a <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S10538119130110604/pdf?md5=241c5a44d2905723000d09a9ba898746&pid=1-s2.0-S10538119130110604-main.pdf>

Navajas, J., Rey, H.G. i Quiñan Quiroga, R. (2014). Perceptual and contextual awareness: methodological considerations in the search for the neural correlates of consciousness. *Frontiers in psychology*, 5. Recuperat el 2 de gener de 2015, a <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4148639/pdf/fpsyg-05-00959.pdf>

Northoff, G. (2014). Do cortical midline variability and low frequency fluctuations mediate William James' "Stream of Consciousness"? "Neurophenomenal Balance Hypothesis" of "Inner Time Consciousness". *Consciousness and cognition*, 30, 184-200. Recuperat el 2 de gener de 2015, a <http://www.georgnorthoff.com/s/1-s2.0-S1053810014001652-main.pdf>

Oizumi, M., Albantakis, L., & Tononi, G. (2014). From the Phenomenology to the Mechanisms of Consciousness: Integrated Information Theory 3.0. *PLoS computational biology*, 10(5), e1003588. Recuperat el 2 de gener de 2015, a <http://www.ploscompbiol.org/article/fetchObject.action?uri=info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pcbi.1003588&representation=PDF>

Pitts, M. A., Metzler, S., & Hillyard, S. A. (2014). Isolating neural correlates of conscious perception from neural correlates of reporting one's perception. *Frontiers in psychology*, 5. Recuperat el 2 de gener de 2015, a <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4189413/pdf/fpsyg-05-01078.pdf>

Pitts, M. A., Padwal, J., Fennelly, D., Martínez, A., & Hillyard, S. A. (2014). Gamma band activity and the P3 reflect post-perceptual processes, not visual awareness. *Neuroimage*, *101*, 337-350. Recuperat el 2 de gener de 2015, a [http://www.researchgate.net/profile/Antigona\\_Martinez/publication/264291835\\_Gamma\\_band\\_activity\\_and\\_the\\_P3\\_reflect\\_post-perceptual\\_processes\\_not\\_visual\\_awareness/links/540f1f930cf2f2b29a3dd412.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Antigona_Martinez/publication/264291835_Gamma_band_activity_and_the_P3_reflect_post-perceptual_processes_not_visual_awareness/links/540f1f930cf2f2b29a3dd412.pdf)

Raffone, A., Srinivasan, N. i Van Leeuwen, C. (2014). Perceptual awareness and its neural basis: bridging experimental and theoretical paradigms. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *369*(1641). Recuperat el 6 de setembre de 2014, a <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3965159/pdf/rstb20130203.pdf>

Safavi, S., Kapoor, V., Logothetis, N. K., & Panagiotaropoulos, T. I. (2014). Is the frontal lobe involved in conscious perception?. *Frontiers in psychology*, *5*. Recuperat el 2 de gener de 2015, a <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4168671/pdf/fpsyg-05-01063.pdf>

Sarasso, S., Rosanova, M., Casali, A. G., Casarotto, S., Fecchio, M., Boly, M., ... & Massimini, M. (2014). Quantifying cortical EEG responses to TMS in (un)consciousness. *Clinical EEG and neuroscience*, *45*(1), 40-49. Recuperat el 2 de gener de 2015, a [http://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/163737/1/Sarasso\\_ClinEEGNeurosci\\_2014.pdf](http://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/163737/1/Sarasso_ClinEEGNeurosci_2014.pdf)

Sitt, J. D., King, J. R., El Karoui, I., Rohaut, B., Faugeras, F., Gramfort, A., ... & Naccache, L. (2014). Large scale screening of neural signatures of consciousness in patients in a vegetative or minimally conscious state. *Brain*, *137*(8), 2258-2270. Recuperat el 2 de gener de 2015, a <http://brain.oxfordjournals.org/content/137/8/2258.full-text.pdf>

Sterzer, P., Stein, T., Ludwig, K., Rothkirch, M., & Hesselmann, G. (2014). Neural processing of visual information under interocular suppression: a critical review. *Frontiers in Psychology*, *5*. Recuperat el 2 de gener de 2015, a <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4032950/pdf/fpsyg-05-00453.pdf>

Tononi, G. i Koch, C. (2014). *Consciousness: Here, There but Not Everywhere*. arXiv preprint arXiv:1405.7089. Recuperat el 2 de gener de 2015, a <http://arxiv.org/pdf/1405.7089>

Vidal, J. R., Perrone-Bertolotti, M., Kahane, P., & Lachaux, J. P. (2014). Intracranial spectral amplitude dynamics of perceptual suppression in fronto-insular, occipito. *Nat Rev Neurosci*, *10*, 59-70. Recuperat el 2 de gener de 2015, a <http://journal.frontiersin.org/Journal/10.3389/fpsyg.2014.01545/pdf>

Zaretskaya, N., & Narinyan, M. (2014). Introspection, attention or awareness? The role of the frontal lobe in binocular rivalry. *Frontiers in human neuroscience*, 8. Recuperat el 2 de gener de 2015, a <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4104467/pdf/fnhum-08-00527.pdf>