

Augmentar la realitat: sobre la història compartida de la il·lusió perceptiva i el *mapping*

Álvaro PASTOR

Universitat Oberta de Catalunya

NOTA BIOGRÀFICA: Álvaro Pastor és arquitecte i compta amb un màster universitari en Sistemes Cognitius i Media Interactius de la Universitat Pompeu Fabra i el doctorat en Tecnologies de la Informació i de Xarxes de la Universitat Oberta de Catalunya. Investigador de la memòria humana i expert en tecnologies immersives aplicades a la ciència del cervell i del comportament, actualment és professor dels Estudis d'Informàtica, Multimèdia i Telecomunicació de la Universitat Oberta de Catalunya. Anteriorment havia exercit com a docent al Centre de la Imatge i la Tecnologia Multimèdia de la Universitat Politècnica de Catalunya i a l'Escola de Disseny i Arts Visuals LCI Barcelona.

Traducció al català, Pere BRAMON

Resum

Des del segle xv, les il·lusions perceptives basades en la correspondència espacial entre objectes i imatges exposades han estat objecte d'estudi per part d'artistes i científics, els quals, mitjançant el domini de l'òptica, han pogut crear tècniques decisives com la perspectiva lineal o ginys com la llanterna màgica. El *mapping* contemporani hereta i estén encara més aquest impuls per produir il·lusions perceptives a l'espai en incorporar les capacitats en temps real necessàries per superposar dinàmicament el que és imaginari sobre objectes físics en condicions fluides del món real. S'ha assolit una fita cabdal en la creació de les possibilitats tècniques per a experiències de realitat sintètica de gran abast i sense limitacions, disponibles a ull nu, on cada superfície pot actuar com una pantalla i la relació amb els objectes quotidians està oberta a alteracions perceptives.

Paraules clau: percepció, simulació, il·lusió, arquitectura, projecció
mapping

Álvaro PASTOR

Augmentar la realitat: sobre la història compartida de la il·lusió perceptiva i el *mapping*

Introducció

L'avenç i la popularització de les tecnologies informàtiques durant les darreres tres dècades ha tingut un efecte significatiu no només en la manera com es creen les imatges, sinó també en les tècniques i tecnologies que en permeten la presentació. Es podria dir que una de les pràctiques emergents més populars és el *mapping*, també conegut com a videomapatge o *mapping 3D*, una terminologia que fa referència a un conjunt de tècniques d'imatge al servei de la projecció espacialment coherent d'imatges bidimensionals sobre objectes físics tridimensionals (Hwang [et al.], 2013; Naimark, 1984). Tot i l'aparent novetat del seu ús els darrers anys en els camps de la comunicació, la publicitat i les arts visuals, la pràctica actual del *mapping* és el resultat de segles de desenvolupament i perfeccionament d'un ampli conjunt de tècniques derivades de l'òptica i les ciències de la percepció humana, així com d'operacions matemàtiques per a la transformació d'imatges i l'evolució dels dispositius de projecció. Significativament, al llarg d'aquests períodes de la història l'objectiu fonamental comú ha estat la producció d'il·lusions perceptives. Algunes fites importants al llarg d'aquests segles són la invenció de les tècniques de perspectiva lineal i la seva aplicació en instal·lacions de *trompe-l'oeil* i de *quadratura* al Renaixement, les qualitats teatrals immersives del panorama i la fantasmagoria al segle XVIII, i el desenvolupament de les capacitats de renderització per ordinador 3D en temps real i la popularització del *mapping* a finals del segle XX. Aquest article analitza l'evolució del *mapping* en relació amb la història de les pràctiques d'il·lusió perceptiva, tenint en compte les metodologies de disseny, les eines i les tècniques implementades comunes, en una selecció transversal de pràctiques científiques i artístiques que comprèn des de composicions estàtiques sobre tela fins a substitucions dinàmiques en l'espai tridimensional. S'aporta un comentari sobre els fenòmens perceptius i cognitius emergents com a resultat de la distribució espacial de continguts sintètics per presentar la idea que la posició actual de les formes dinàmiques en temps real del *mapping* constitueix un punt d'inflexió

en el repte de substituir el món real per versions sintètiques que oferirien mitjans sense precedents per a la identitat visual i les transformacions de significat més enllà de les limitacions materials.

La il·lusió espacial al Renaixement

Abans del segle XIV s'havien fet alguns intents per crear la il·lusió d'un espai tridimensional i representar de manera realista el món espacial a l'art. Els mestres italians Giotto i Duccio, a finals del segle XIII i començaments del XIV, van començar a explorar la idea de la profunditat i el volum en les seves obres, i se'ls pot atribuir la introducció d'una forma primerenca de pintura tridimensional mitjançant l'ús d'ombres i contrastos de colors per crear una il·lusió de profunditat (Hoffmann, 2010; Schetnikov, 2020). Malgrat que encara estaven molt lluny de les representacions tridimensionals precises i robustes populars en la imatgeria actual, aquesta tècnica coneguda com a clarobscur va ajudar els artistes a crear la il·lusió de volum i profunditat. Popularitzat a començament del segle XV, el clarobscur es va dominar especialment per als processos de modelatge i representació del cos humà i es va fer servir àmpliament durant els segles XVI i XVII, en el manierisme i el barroc, com un dels patrons per apropar-se a la representació tridimensional. No satisfets amb la tècnica del moment, els pintors florentins de principi del segle XV volien desenvolupar la pintura com a ciència derivada de la geometria euclidiana influenciada pels postulats intel·lectuals neoplatònics. En aquest sentit, no es van conformar amb la tècnica intuïtiva del clarobscur, sinó que van cercar mètodes científics per representar la realitat basats en les lleis matemàtiques, i així van originar el coneixement que finalment va dur a la invenció del sistema de perspectiva lineal. El sistema de perspectiva lineal projectava la il·lusió de profunditat sobre un pla bidimensional mitjançant l'ús de punts de fuga als quals totes les línies convergeixen a l'altura dels ulls a l'horitzó, cosa que reproduïx amb precisió la manera com els objectes semblen més petits quan són més lluny, i la manera com les línies paral·leles semblen trobar-se en un punt en la distància.

Entre 1415 i 1420, l'arquitecte italià Filippo Brunelleschi, considerat una de les figures fundadores del Renaixement, va dur a terme i documentar una sèrie d'experiments que el van ajudar a desenvolupar les tècniques de perspectiva adequades per representar fidelment volums tridimensionals sobre una tela plana. Un dels seus resultats va ser la representació, amb una proporció i organització espacials precises, del Baptisteri de Florència i del Palazzo Vecchio vistos des de la porta principal de la catedral inacabada, cosa que proporcionava a l'espectador la plena il·lusió d'estar present a l'escena. Aquests avenços tècnics van ser sistematitzats posteriorment per Leon Battista Alberti a la seva obra de 1436 *De Pictura*, un dels tractats sobre pintura més importants del Renaixement, que va permetre als artistes per primera vegada pintar escenes imaginàries amb un realisme tridimensional perfectament rigorós seguint el conjunt de regles de perspectiva estudiades per Brunelleschi (Alberti, 1435, 1972; Brock, 2015; Dunning, 1991). D'aquesta manera, es va anar consolidant un model estandarditzat de percepció visual humana, a partir del qual es va derivar i aplicar un conjunt de regles

matemàtiques per regir la disposició dels elements pictòrics i així produir una il·lusió creïble de tridimensionalitat.

Durant els cinc segles següents, el sistema de perspectiva de Brunelleschi i les tècniques derivades es van emprar per crear la il·lusió de profunditat en el pla pictòric i van servir de base per a algunes de les grans obres d'art de la cultura occidental (Gablík, 1977; Gombrich, 2014; Verstegen, 2010). Entre les primeres, trobem *La Madonna de Brera*, creada entre 1472 i 1474 per l'artista italià Piero della Francesca. Es tracta d'una obra pictòrica de grans dimensions que recull un grup de figures religioses i icones en un absis fictici de l'església, curosament representades mitjançant les innovacions de les tècniques de perspectiva lineal. Però les tècniques de perspectiva no només van permetre produir una il·lusió coherent d'espai sobre una superfície plana, sinó que també es van fer servir per organitzar i ressaltar elements concrets de la composició, assignant així significat en relació amb posicions espacials específiques en la tela (Banker, 2014; Schwartz, 1988). Per exemple, el centre geomètric del rostre del personatge principal coincideix amb el punt de fuga del sistema de perspectiva emprat a l'escena, i l'ou que penja d'un element en forma de petxina sota l'absis està perfectament alineat amb el punt de fuga i marca una línia perpendicular a l'horitzó de l'escena. Tommaso di Ser Giovanni di Simone, més conegut com a Masaccio i considerat el primer gran pintor italià del Quattrocento del Renaixement italià, va pintar el 1425 *La Santíssima Trinitat* a l'església dominicana de Santa Maria Novella de Florència. Aquesta pintura mural pionera no només presentava amb precisió la il·lusió de les tres dimensions gràcies a l'ús de tècniques de perspectiva lineal, sinó que també donava com a resultat una composició coherent amb els elements arquitectònics preexistents que envolten el mural, barrejant elements tridimensionals pintats i arquitectònics per realçar l'efecte il·lusori. Aquest tipus específic d'il·lusió, possible gràcies a la fusió coherent de tècniques pictòriques i elements arquitectònics, es coneixia com a *quadratura* (Cristiani, 2002). L'artista Andrea Mantegna va experimentar encara més amb aquesta tècnica i va desenvolupar pintures de sostre il·lusionistes emprant tècniques de perspectiva per crear les il·lusions perceptives; ell va ser responsable, el 1465, d'un dels exemples més significatius de *quadratura*. Situat a la Camera degli Sposi del Palau Ducal de Màntua, aquest *trompe-l'oeil* es va aplicar a les pintures del sostre perquè fossin vistes pels espectadors, des de baix cap a dalt, i mostra la representació il·lusionista d'un òcul que s'obre al cel i diversos personatges ficticis que miren cap avall, cap als espectadors (Wade i Hughes, 1999). Executada per Andrea Pozzo el 1688, *L'Apoteosi de Sant Ignasi* a Sant Ignazio de Roma és un altre exemple notable de *quadratura*; presenta una composició que combina personatges ficticis i elements arquitectònics en un sostre de gairebé 17 metres d'amplada. Amb la unió de l'arquitectura, la pintura i l'escultura va començar a madurar un nou tipus de forma d'art per a un lloc específic, que es transmetia als espectadors mitjançant una experiència espacial de tot el cos. En certa manera, aquesta experiència gairebé teatral va ser precursora dels ideals estètics de la *Gesamtkunstwerk* (obra d'art total), postulada anys més tard, a mitjans del segle XIX, pel compositor d'òpera alemany Richard Wagner.

Panorama i fantasmagoria

Els pintors barrocs del segle XVII, entre els quals destaquen Caravaggio, Bernini, Rubens, Rembrandt, Velázquez i Vermeer, van fer servir el ja consolidat sistema de representació tridimensional en centenars d'enfocaments diferents, igual que ho van fer els pintors del moviment neoclàssic, entre els quals destaca l'obra de Giovanni Battista Piranesi. *Carceri d'invezione*, una sèrie de gravats produïts entre 1745 i 1761 per Piranesi, representa escenes fictícies ombrívols plenes de personatges misteriosos, ponts, escales i mecanismes, mitjançant l'ús meticulós de la tècnica de la perspectiva.

Amb tot, durant aquestes dècades van ser pocs els artistes que van compartir l'interès per l'experimentació i el desenvolupament d'il·lusions perceptives a través de l'experiència espacial. En aquest context, és un referent important l'obra de Robert Barker, un pintor irlandès que va desenvolupar la idea de construir un edifici de planta circular per allotjar pintures a escala gairebé real amb paisatges panoràmics. Així és com l'any 1792 va néixer el panorama, que es fonamentava en els coneixements sobre perspectiva i contrast de colors posats en pràctica durant els darrers dos segles; les seves pintures envoltaven l'espectador 360 graus en el pla horitzontal i arribaven als 15 metres d'alçada.

En poc temps, el panorama de Barker va augmentar quant a mida i a complexitat, i la instal·lació de planta circular va incorporar topografies i elements arquitectònics amb l'objectiu de fer-los coincidir amb l'escena pintada, per augmentar-ne així l'efecte il·lusori de manera similar a com la *quadratura* incorporava elements arquitectònics a la composició. D'aquesta manera, els terres, les escales, les baranes, les fonts o altres elements del mobiliari urbà no només regulaven els desplaçaments dels espectadors dins de l'edifici, sinó que, encara més important, servien com a senyals immersius, vincles formals i semàntics entre les escenes representades i la noció del que es considerava una experiència del món real (Fliethmann, 2011; Uricchio, 2011). El panorama es va continuar popularitzant com una forma d'entreteniment a gran part d'Europa occidental i d'Amèrica del Nord, aollint de manera reeixida la representació de famoses batalles per al gran públic. En una època en què poques persones es podien permetre viatjar, el panorama els possibilitava passejar per països llunyans i contemplar esdeveniments històrics des de punts de vista privilegiats, com a pioners d'una forma primitiva de narrativa distribuïda en l'espai i els temps, de manera semblant al que ara és possible viure en una experiència de realitat virtual o en un videojoc (Finn-Saisselin, 2018; Finn-Saisselin i Cruz, 2018).

Durant les dècades anteriors, l'augment ràpid dels coneixements en òptica no només va ser útil per al desenvolupament i l'ús de tècniques relacionades amb la perspectiva, sinó que també va propiciar una sèrie d'invençions rellevants pel que fa a instruments òptics, entre els quals trobem aparells de reflexió i projecció de la llum. El jesuïta Athanasius Kircher, al seu llibre de 1645 *Ars magna lucis et umbrae*, va descriure un sistema de projecció primitiu amb una lent d'enfocament i un mirall còncau que reflectia la llum solar i servia de suport per mostrar textos o imatges, conegut com a mirall

esteganogràfic. Ampliant aquesta idea, el científic neerlandès Christiaan Huygens va documentar el 1659 la invenció de la llanterna màgica, un tipus primerenc de projector d'imatges que emprava plaques de vidre semi-transparentes pintades a mà, una o diverses lents i una font de llum (Swan, 2003). La llanterna màgica es va consolidar i es va fer servir cada cop més amb fins educatius i d'entreteniment durant el segle XVIII (Kember, 2019). En aquest període, si bé el disseny bàsic de la llanterna màgica va experimentar diverses modificacions en relació amb les capacitats de la font de llum i les característiques de les lents, el concepte fonamental principal i el funcionament bàsic van romandre sense canvis. A finals del segle XVIII, el físic i clergue belga Étienne-Gaspar Robert i un dels primers projectistes de tots els temps, Paul Philidor, van crear una nova forma d'espectacle d'il·lusionisme amb llanterna màgica conegut com a fantasmagoria. Es tracta d'un espectacle teatral que consistia a projectar davant d'un públic assegut imatges sobre teles i elements sòlids mitjançant llanternes màgiques, per projecció frontal i per retroprojecció simultàniament (Barber, 1989; Castle, 1988; Hecht, 1983). Durant el segle XIX, l'invent es va sofisticar encara més amb fonts de llum més potents, la incorporació d'impressions fotogràfiques en plaques de vidre, millores en el camp de l'òptica i mecanismes que permetien la projecció de seqüències d'imatges, cosa que va contribuir a consolidar la maduresa expressiva d'un nou tipus d'espectacle visual, encara molt influenciat per l'ús de la perspectiva i el contrast de colors per aconseguir un realisme volumètric (Clarke i Doel, 2005).

Seguint aquesta tradició teatral il·lusòria, Louis Dagarre va desenvolupar l'any 1822 el diorama, un giny per representar escenes basat en la llum, que disposava de dues immenses pintures i diversos elements mòbils intercanviables, com ara figures humanes, animals o personatges de ficció, il·luminats per davant i per darrere dins d'un auditori giratori completament a les fosques. El diorama combinava tècniques de pintura opaca i translúcida i la manipulació de la llum en un espectacle en directe amb tècniques de contrast de colors i perspectiva per produir una escena versemblant amb una representació espacial precisa. En una versió a gran escala, el marc del diorama podia arribar a fer una amplada de 10 metres i presentar elements translúcids intercalats de diferents opacitats i colors, accionats mitjançant cordes que modificaven el to del color de parts concretes del marc per simular, per exemple, una boira intensa o un sol brillant (Hawkins, 2016). El fantasma de Pepper és una altra innovació teatral d'aquest període. Popularitzat per John Henry Pepper a Anglaterra a partir del 1862, aquesta tècnica aconsegueix una il·lusió òptica creada mitjançant el reflex d'una escena oculta sobre una pantalla transparent situada entre el públic i la zona de l'actuació. El públic interpretava que l'objecte reflectit hi era físicament present en primer pla, tot i la seva absència real.

Unes dècades més tard, el director i productor teatral alemany Erwin Piscator va desenvolupar els experiments escenogràfics més estables utilitzant les possibilitats tecnològiques dels inicis del segle XX com a suport en obres teatrals èpiques que emfatitzaven el contingut sociopolític del drama. Val a dir que, a la seva primera producció, *Sturmflut*, de 1926, l'escenari

estava format per una pantalla de fons translúcid amb un marc negre sòlid i una obertura variable que servia de fons per mostrar imatges procedents de quatre retroprojectors com a suport per als artistes en escena.

Espai-temps performatiu

Tot i que la majoria de les obres de pintors impressionistes, com ara Renoir, Sisley, Monet i Pissarro, i postimpressionistes, com ara Van Gogh, Gauguin i Seurat, també depenien d'aquestes tècniques de representació espacial mímica, a finals del segle XIX es va produir una transformació important als àmbits generals de les ciències i de les arts. Aquesta transformació va desafiar el patró de la perspectiva centralitzada absoluta, en què les imatges orbitaven al voltant de l'ull estàtic de l'espectador, donant pas progressivament al desenvolupament de sistemes de múltiples punts de vista, l'objectiu dels quals era capturar els lapses de temps en què l'escena s'havia de considerar no com a estàtica, sinó en moviment.

La idea de la multiplicitat de punts de vista es va desenvolupar en les arts, sobretot per part del moviment cubista, i fonamentalment per Picasso i Braque en la seva invenció de tècniques com el facetat o la perspectiva múltiple. Aquesta mena de representacions de múltiples punts de vista en l'espai i el temps fusionats en una sola imatge es va consolidar com un dels trets més celebrats del moviment. Cal destacar que aquestes innovacions poden interpretar-se com la postura filosòfica crítica del moviment quant a la perspectiva i la capacitat dels éssers humans per captar i representar fidelment la realitat. Per als cubistes, l'art no havia de servir per ser una mimesi de la realitat, com una instantània objectiva «del que hi ha», sinó que havia de servir per representar les coses tal com s'experimenten en l'espai i el temps, una instantània subjectiva «del que es percep». Aquest nou mètode tenia com a objectiu explicar el canvi i el flux en una escena i crear una situació performativa en què el paper interpretatiu de l'espectador esdevingués central en el poder evocador de les imatges cubistes (Edgerton, 2014). En aquest mateix sentit, Albert Gleizes i Jean Metzinger al seu llibre de 1912 *Du «Cubisme»*, el primer text important sobre el cubisme, van relacionar explícitament la recerca de múltiples perspectives amb un intent d'entendre el temps com un continuïum. Això es pot interpretar com una expressió simbòlica de la noció de durada proposada pel filòsof Henri Bergson, segons la qual la vida s'experimenta subjectivament com un continuïum, amb el passat fluïnt cap al present i el present fusionant-se amb el futur (Bergson i Durie, 1999; Gleizes i Metzinger, 1980). Les primeres pintures futuristes d'Umberto Boccioni, Giacomo Balla o Gino Severini també van estar molt influenciades per aquesta recerca de múltiples perspectives i simultaneïtat. Aquesta tècnica de representar múltiples punts de vista en l'espai i el temps va augmentar en complexitat i proporcions a *Le Dépiquage des Moissons*, de Gleizes, exposada al Salon de la Section d'Or de 1912, i a *Ciutat de París*, de Robert Delaunay, exposada al Salon des indépendants l'any 1912. Així com la invenció de la perspectiva lineal al Renaixement del segle XV va ser una manifestació important de l'establiment d'una forta interpretació antropocèntrica

del món en què es basava tota la ciència i la filosofia, el paradigma de la perspectiva múltiple que va arribar a principis del segle xx va marcar el desencís definitiu de l'ésser humà com a mesura de totes les coses i va donar la benvinguda a noves idees de la física sobre la naturalesa de l'espai i del temps, així com sobre l'àtom i la dinàmica atòmica, que en darrera instància van afavorir moltes de les idees que van donar forma a les dècades següents: allò relatiu sobre allò absolut, la multiplicitat sobre la centralització, la cocreació dinàmica sobre la predeterminació (Lepenies, 2018). Mentre que els artistes del Renaixement maldaven per representar la realitat oferint als espectadors una il·lusió perceptiva arquetípica, l'il·lusionisme cubista subverteix aquest tipus de representació realista posant èmfasi en el seu propi artifici, les seves pròpies manipulacions perspectivistes i, per tant, en la naturalesa problemàtica de la representació i la il·lusió.

Cinema expandit

Durant la dècada de 1950, l'artista txec Josef Svoboda va treballar en un tipus de format teatral no verbal en què els actors actuaven en harmonia amb imatges en moviment projectades per un conjunt de llanternes màgiques i elements d'escenografia que servien de suport a la producció del significat performatiu. Aquesta síntesi poètica de mètodes tradicionals i d'innovació tècnica, que incloïa l'arquitectura, la dansa, el cinema i el teatre, que d'alguna manera va revivir la *Gesamtkunstwerk* de Richard Wagner, va proporcionar a Txecoslovàquia el màxim guardó a l'Exposició Universal de Brussel·les de 1958. Svoboda no només dominava les tècniques clàssiques de perspectiva i contrast de colors per crear una il·lusió espacial adequada a l'escenari, sinó que també en multiplicava el poder evocador aprofitant les interaccions que sorgien entre les característiques dels elements físics seleccionats, els actors i el contingut de les imatges projectades a la composició (Burian, 1970). A més, el *Polyekran* de Svoboda formava part d'aquest nou format teatral; es tractava d'un sistema de multiprojecció que disposava de pantalles de diverses formes i dimensions penjades amb cables d'acer en angles arbitraris sobre un fons negre. Vuit projectors de diapositives i set projectors de cinema, juntament amb un equip estèreo sincronitzat, ajudaven a completar aquest instrument al servei de l'obra d'art total.

La qualitat immersiva de les imatges distribuïdes espacialment també va ser un dels interessos del cineasta experimental Stan VanDerBeek, que entre 1963 i 1965 va desenvolupar el seu *movie-drome*, una semiesfera on els espectadors s'estiraven i experimentaven les pel·lícules que s'hi projectaven al voltant. És important destacar que, amb la notable influència de les construccions de cúpules de Buckminster Fuller i les instal·lacions públiques Panorama de Robert Barker, VanDerBeek va concebre el *movie-drome* com un prototip de sistema de comunicació bidireccional global que consistia en una xarxa de *movie-dromes* connectats a satèl·lits en òrbita que emmagatzemaven i es transmetien imatges entre ells. Tot i que van quedar lluny de complir plenament la seva visió, els *movie-dromes* van plantejar una nova sèrie de reptes a l'ús tradicional de la perspectiva i les narratives lineals per

representar la realitat. En canvi, VanDerBeek va presentar un disseny de perspectiva múltiple que aconseguia diverses mirades sobre diferents esdeveniments simultanis; això donava com a resultat una narrativa fragmentada i no lineal, un collage d'imatges en moviment distribuït espacialment (Ferguson, 2019; Sutton, 2015). A diferència del cinema tradicional, aquest nou tipus d'experiència, a vegades descrit com a cinema expandit (Youngblood, 1970), feia especial èmfasi a treure la cinematografia de les seves limitacions lineals i concentrades per donar pas a una experiència multisensorial no lineal i distribuïda en l'espai, destinada a una participació del públic que s'anticipa a la interactivitat i les pràctiques participatives de l'art contemporani.

La participació del públic produïda per il·lusions perceptives curiosament controlades també es va investigar amb fins d'entreteniment popular. Com a prova d'això, el 9 d'agost de 1969 va obrir al públic l'espectacle *Haunted Mansion* a Disneyland, que presentava una sèrie d'il·lusions perceptives basades en la llum dins d'una estructura victoriana de tres pisos construïda a la plaça New Orleans, al parc Adventure Park de Disney a Califòrnia. El projecte aplegava les obres dels artistes i narradors Yale Gracey, Marc Davis, Claude Coats i Xavier Atencio, com ara la innovadora instal·lació *Singing Busts* de Rolly Crumps (Mine [et al.], 2012). Aquesta obra constava de cinc bustos cantaires, als quals donaven vida els actors de *Grim Grinning Ghosts*, preenregistrats en pel·lícula de 16 mil·límetres mentre cantaven el tema principal de l'atracció i després projectats sobre els bustos de guix modelats a partir de cada personatge. Mitjançant el control de la il·luminació i el contrast de l'escena, juntament amb la trajectòria predeterminada i el punt de vista dels usuaris, els dissenyadors van poder obtenir una il·lusió multisensorial sense precedents que es pot considerar com un precursor directe dels paradigmes actuals de realitat virtual i augmentada.

Des de mitjans de la dècada dels vuitanta, trobem nombrosos exemples de recreació d'escenes cinematogràfiques mitjançant l'ús de seqüències de vídeo combinades amb objectes i architectures immersives. Entre aquests hi ha les obres de Tony Oursler, que, com una de les figures clau en el desenvolupament del videoart, des de ben aviat va experimentar amb la imatge en moviment més enllà dels límits de la pantalla del televisor (Kaye, 2008). Oursler va presentar projeccions sobre escultures i instal·lacions escenogràfiques especialment elaborades per a aquest fi. Les seves obres de nines i maniquins de començaments dels anys noranta, o *Troubler*, de 1996, es basen completament en la correspondència espacial i semàntica entre la pel·lícula projectada i les nines, fortament antropomorfitzades (London, 1996). Mitjançant l'ús dels coneixements centenaris en els camps de l'òptica i la percepció, el control de la llum i l'ombra i el punt de vista de l'espectador, Oursler va dominar un tipus únic de composició cinematogràfica basada en la combinació d'objectes trobats, cares realistes en moviment i elements arquitectònics que cobren vida gràcies a les narratives superposades projectades (Malt, 2013).

Michael Naimark és un important artista multimèdia i investigador que també ha explorat la representació basada en l'espai. La seva instal·lació *Displacements*, desenvolupada entre 1980 i 1984, va potenciar encara més les

interaccions espacials i semàntiques entre imatges i superfícies, i és considerada com una de les obres més importants i seminals en aquest àmbit. Es tracta d'una instal·lació immersiva que projectava una pel·lícula preenregistrada en 16 mil·límetres sobre la recreació d'una sala d'estar arquetípica completament coberta de pintura blanca, fent coincidir la ubicació espacial de les imatges projectades amb objectes seleccionats de la sala. El projector, situat sobre un plat giratori al centre de l'espai, dirigia a poc a poc la mirada dels espectadors cap a la narrativa que s'anava revelant amb l'aparició dels personatges i els objectes en tres dimensions. L'artista Jeffrey Shaw també ha dut a terme des de finals de la dècada de 1960 investigacions sobre els tipus de cinema expandit i el desenvolupament de diverses estratègies innovadores d'il·lusió espacial. Per exemple, *Corpocinema*, de 1967, consistia en una projecció en una cúpula, i *Diadrama*, de 1974, es projectava en una pantalla de 180 graus que envoltava el públic.

En la seva forma teatral, un exemple de materialització de la combinació de tècniques antigues de perspectiva i de contrast amb narratives contemporànies basades en l'espai és l'òpera *Le Grand Macabre*, de La Fura dels Baus. Estrenada a Brussel·les el març de 2009, la companyia feia ús de la correspondència entre imatges projectades i objectes físics, aprofitant les friccions emergents entre les imatges projectades i una figura antropomòrfica a gran escala que mutava d'identitat i funció dins de l'obra. La proposta de La Fura dels Baus pretenia evitar la mimesi i, en lloc de repetir la realitat, apostava per construir un tipus d'experiència il·lusòria en directe (Sánchez, 2006). Entre les obres de Robert Lepage trobem exemples notables, com ara *Needles and Opium*, que narrativament es basa en una forta implicació amb l'espai, d'aquí la necessitat d'una representació curosa de la ubicació i del context dins d'una estructura semicúbica amb un conjunt de pantalles que muten segons les necessitats de cada escena (Pluta, 2010). L'ús d'aquesta mena de cavitats espacials neutres que serveixen com a pantalles immersives ha anat guanyant popularitat durant l'última dècada. El 2012, com a part d'una campanya de màrqueting per als productes Sony PlayStation, l'agència Marshmallow Laser Feast va presentar el *mapping* de tota una sala d'estar amb marionetes coreografiades en directe: controlaven tots els elements de l'escenari i l'actuació es va fer davant d'una càmera que enregistrava ininterrompudament. Les actuacions enregistrades resultants oferien un alt grau d'il·lusió, alhora que consolidaven el punt de vista arquetípic centralitzat i predeterminat, en aquest cas, el punt de vista de la càmera d'enregistrament ininterromput. Entre els exemples a gran escala, *Cité Mémoire*, una obra creada el 2016 per Michel Lemieux i Victor Pilon, de Lemieux Pilon 4D Art, consistia en la superposició d'imatges d'arxiu i cinematogràfiques sobre una sèrie de façanes arquitectòniques de Montreal. El resultat va ser la integració de superfícies estàtiques com a fons per a vinyetes, amb la qual cosa es presentaven narratives desplaçades de les seves ubicacions originals i de les seves cronologies històriques.

Virtualitat interactiva

Amb l'arribada i la popularització de les tecnologies informàtiques interactives, les obres d'art basades en l'espai van especular amb la possibilitat de produir il·lusions perceptives de cos sencer que ja no estiguin lligades a les posicions espacials i els punts de vista predeterminats de l'espectador, sinó que ofereixin continguts que interactuïn amb l'usuari, ajustant dinàmicament les representacions tridimensionals al seu punt de vista en temps real (Majumder i Brown, 2007; Svoboda [et al.], 2005; Szeliski, 2011).

A partir d'aquest moment, una part important de la recerca en els camps acadèmics i de la indústria va coincidir en l'objectiu de desenvolupar tècniques i dispositius per a la composició visual d'objectes virtuals dins d'entorns reals, amb cada cop més capacitat perquè els espectadors esdevinguessin coparticipants. En aquest sentit, el 1992, Carolina Cruz Neira, Daniel J. Sandin i Thomas A. DeFanti van fer un avenç significatiu al Laboratori de Visualització Electrònica de la Universitat d'Illinois, Chicago. Van presentar el concepte CAVE, acrònim de *Cave Automatic Virtual Environment*, una instal·lació semicúbica formada per unes parets i un terra fets de pantalles de retroprojectió d'alta resolució i un sistema de captura de moviment que permetia als usuaris interactuar mitjançant moviments físics (Cruz-Neira [et al.], 1992; R. Cruz-Neira i Springer, 2010; Prince, 2012). L'any 1995, un equip d'investigadors de la Universitat de Carolina del Nord a Chapel Hill, entre els quals es trobaven Ramesh Raskar, Greg Welch i Henry Fuchs, va presentar *The Office of the Future*, un tipus d'aplicació CAVE que no era compatible amb superfícies retroprojectades, sinó que es projectava sobre superfícies i objectes reals d'una oficina, i que a més incorporava tècniques de visió per ordinador en temps real per extreure dinàmicament informació segons la profunditat de píxel i la reflectància de les superfícies visibles de l'oficina, incloses les parets, els mobles, els objectes i les persones, i després projectar imatges a les superfícies, renderitzar imatges de les superfícies o interpretar-ne els canvis (Bimber i Raskar, 2006; Raskar, 2001; Wyeld, 2005).

El 2006, Shaw va endegar una investigació sobre un sistema de projecció en tres dimensions de 360 graus al Centre de Recerca i Cinema de la UNSW, un centre dirigit per Shaw i cofundat amb Dennis Del Favero. AVIE, *Advanced Visualisation and Interaction Environment*, es va instal·lar per primera vegada a l'edifici Scientia de la Universitat de Nova Gal·les del Sud el 2003, i va presentar un paradigma que permetia explorar imatges panoràmiques de 360 graus projectades dins d'un marc arquitectònic que correlacionava el disseny del paisatge virtual amb el de la pròpia instal·lació, de manera que s'activaven simultàniament les representacions virtuals i els materials reals de l'espai de projecció.

Aquesta instal·lació també va introduir un grau fonamental de control per part de l'usuari, ja que permetia a l'espectador controlar la rotació d'una finestra projectada. El disseny d'AVIE seguia les tradicions del panorama, així com la cerca de l'impacte encarnat de les tècniques barroques de pintura al fresc *trompe-l'oeil* (Shaw, 2001; Shaw i Weibel, 2003). Un exemple destacable d'implementació és *The Pure Land: Inside the Mogao Grottes*, un

projecte de l'any 2012 de Sarah Kenderdine i Jeffrey Shaw, que treballaven a la Universitat de Hong Kong. Servint-se de dades digitalitzades de les coves de Mogao a la Xina, aquesta instal·lació posa en relleu la il·lusió espacial a través de la immersió panoràmica i les tècniques de visualització d'imatges coherents (Schreibman [et al.], 2016). Els continguts es representen en una sala AVIE cilíndrica de deu metres de diàmetre per quatre d'alçada, mentre una interfície portàtil proporciona interacció amb les imatges renderitzades i permet a l'usuari revelar voluntàriament parts clau de les pintures murals de les parets.

Aquests sistemes de visualització interactiva a escala real van permetre investigar l'àmbit de la il·lusió espacial de la realitat i van ajudar a posar els fonaments de la realitat augmentada i basada en projectors en dècades posteriors. Tal com es defineix, la realitat augmentada té com a objectiu crear sistemes que millorin el món real superposant-hi informació generada per ordinador, en una o més modalitats sensorials (Asselin, 2014; Caudell i Mizell, 1992; Mark Billinghurst i Looser, 2005; Wellner, 2018). En la seva forma basada en projectors, la realitat augmentada comparteix l'objectiu de generar una il·lusió perceptiva sense restriccions i accessible als sentits, fent servir informació sintètica mostrada en llocs del món real, però diferenciant-se de la simple imatge en moviment basada en l'espai, pel fort component interactiu de l'experiència (Bimber, 2008; Bimber i Raskar, 2005).

Virtualitat viva

En les últimes dècades, un dels objectes més interessants per a l'augment sintètic basat en projectors ha estat el cos humà. En una col·laboració entre els anys 1998 i 2002, el coreògraf Chris Haring i el director i compositor establert a Viena Klaus Obermaier van crear dos espectacles de dansa multimèdia, *D.A.V.E.* i *Vivisector*, que utilitzaven el cos del ballarí com a principal superfície de projecció. Les projeccions precoreografiades sobre la pell dels intèrprets feien creure als espectadors que els cossos es remodelaven i alteraven dràsticament en temps real (Dourish, 2000; Pavel, 2015; Ploebst, 2002). A partir d'aquest treball, Obermaier va desenvolupar *Apparition* el 2004 juntament amb Ars Electronica Futurelab. Aquesta performance interactiva va comptar amb la participació de Desirée Kongerod i Rob Tannion, els moviments dels quals a l'escenari van ser capturats mitjançant una càmera d'infrarojos per generar imatges responsives en temps real, cosa que va suposar un canvi significatiu de les projeccions precoreografiades a les completament interactives.

Al 8è Simposi Internacional de l'IEEE sobre Realitat Mixta i Augmentada (ISMAR) del 2009, un equip d'investigadors, entre els quals hi havia Greg Welch i Henry Fuchs de la Universitat de Carolina del Nord a Chapel Hill, va presentar els *Shader Lamps Avatars* com un nou enfocament per crear un avatar tridimensional projectat en vídeo fent servir rostres de persones reals. Consistia a emprar càmeres i projectors per capturar i mapar el moviment i l'aparença d'una persona real en un cap humanoide de poliestirè expandit de mida real muntat sobre un dispositiu animatrònic. Aquest sistema oferia a múltiples espectadors una representació dinàmica i en temps real d'una

persona (Lincoln [et al.], 2010; Nguyen i Canny, 2005). En una recerca similar, una col·laboració entre l'artista multimèdia japonès Nobumichi Asai, el maquillador Hiroto Kuwahara i l'enginyer d'imatges digitals Paul Lacroix va donar lloc el 2014 al projecte *Omote*, que consistia a emprar tècniques de *mapping* per maquillar i aplicar altres efectes al rostre d'una model en temps real. Mitjançant l'ús d'un conjunt de marcadors infrarojos pintats a la cara de la model, l'equip podia captar i processar la posició dels marcadors, estimar la posició i orientació de la cara, renderitzar un model de la cara amb textura animada a sobre i, finalment, enviar la imatge a través del projector. Aquest sistema de modificació de la fisonomia dona vida a una actitud fluida de la identitat de manera similar a les antigues tècniques Bian Lian, que permeten als intèrprets d'òpera de Sichuan canviar de màscara discretament davant dels espectadors.

Per avançar encara més en aquestes fites, l'any 2015 el laboratori Ichikawa Senoo de la Universitat de Tokio es va proposar superar les limitacions de les condicions estàtiques o quasi estàtiques necessàries per al *mapping*. Van desenvolupar un sistema de projecció dinàmica capaç d'ajustar les imatges en temps real sobre superfícies deformables no rígides. Amb aquest fi, l'equip dirigit per Gaku Narita, Yoshihiro Watanabe i Masatoshi Ishikawa va desenvolupar dos conjunts de tecnologies que abordaven els principals reptes del sistema (Narita i Ishikawa, 2015; Narita [et al.], 2016). En primer lloc, *Deformable Dot Cluster Marker*, un mètode robust de detecció per infrarojos per capturar les deformacions de la superfície, capaç fins i tot de gestionar grans deformacions i oclusions. En segon lloc, es va desenvolupar un sistema de projecció d'alta velocitat, *DynaFlash*, capaç de mostrar imatges de vuit bits a velocitats de fins a mil fotogrames per segon amb latències sense precedents de tres mil·lisegons. Aquestes dues innovacions marquen un punt d'inflexió en la recerca de la il·lusió distribuïda espacialment en aconseguir l'efecte de percebre les imatges projectades com si estiguessin impreses sobre la superfície de l'objecte. L'any 2016, el laboratori Ichikawa Senoo va provar a més els seus sistemes de projecció *mapping* dinàmic actuant sobre un full de paper i una samarreta deformats sobre un o diversos objectius. Tenint en compte la possibilitat d'incorporar marcadors actius o passius a la roba i els objectes quotidians (Tone [et al.], 2020), aquests avenços podrien representar la nova viabilitat tècnica perquè la majoria de les superfícies del món real es converteixin en pantalles que mostrin il·lusions perceptives de manera coherent i sense fissures (Borra, 2015; Florian i Thomas, 2019; Kotthaus [et al.], 2019; Landi, 1988).

Conclusions

La projecció *mapping* ha estat un pas important en l'evolució de l'il·lusionisme perceptiu basat en l'espai, i a partir de l'evolució de les tècniques i idiosincràsies associades s'han desenvolupat una gran varietat de línies de recerca, així com d'aplicacions artístiques i d'entreteniment. Un cop dominats la perspectiva lineal, el contrast de colors i el control de punts de vista per produir representacions tridimensionals espacials estàtiques i realistes, en els darrers anys els sistemes de projecció *mapping* combinats amb sistemes

de visió per ordinador han adquirit la capacitat d'interactuar amb l'usuari i d'ajustar dinàmicament les característiques espacials de les imatges per aconseguir una correspondència gairebé perfecta entre els continguts projectats i l'espai físic. Considerant la projecció de *mapping* com un punt intermedi en el contínuum realitat-virtualitat (Milgram [et al.], 1994), s'ha demostrat que causa almenys dos tipus de resultats observables que es produeixen gairebé simultàniament (Hwang i Ishii, 2011; Pfeiffer [et al.], 2013). El primer es produeix en l'àmbit sensorial, en què les propietats de forma, color i textura de les superfícies físiques són incorporades per les imatges superposades o disminueixen en benefici seu. Per exemple, a la Camera degli Sposi es fa creure als visitants que una superfície sòlida bidimensional, com és una paret de maons, desapareix per donar pas a un paisatge diferent en perfecta harmonia amb l'arquitectura existent. Les cares de les models d'*Omote* es poden cobrir de sobte de maquillatge, i els intèrprets de les obres d'Obermaier poden semblar de carn i ossos d'un moment per l'altre. El segon fenomen observable fa referència al nivell semàntic d'interacció entre els continguts imaginaris i els objectes físics. Depenent de la càrrega semàntica de cada un dels elements que interactuen, la fusió entre les imatges superposades i els suports materials pot produir un grau variable de transferència d'identitat; així, els objectes físics poden contrastar amb les imatges projectades o assumir-ne completament la identitat i la xarxa d'associacions semàntiques. En aquestes relacions d'acord i desacord semàntic, els visitants de la Camera degli Sposi poden tenir la impressió de ser a la residència d'una poderosa dinastia, l'òcul decorat de la qual atrau els àngels del cel. Les models del projecte *Omote* poden semblar de sobte esquelets o humanoides andròides, o pot costar reconèixer com a humans els cossos de *Vivisector*, d'Obermaier, a causa de la seva flexibilitat sense precedents.

Tal com s'ha examinat en aquest article, és evident que hi ha hagut una recerca constant, multigeneracional, multitàcnica i multitecnològica destinada a alterar la percepció. En consonància amb això, s'han fet molts passos per intentar que el món real perdi rellevància en favor de superposicions sintètiques que cada cop són més presents. Aquesta trajectòria suggereix un futur en què l'escenari de la representació s'allibera dels límits del teatre tradicional. En aquest panorama en evolució, cada superfície pot funcionar com una pantalla i cada objecte pot contenir el potencial d'una identitat i un significat fluids, cada vegada més instaurats en l'àmbit de les representacions virtuals. Com que la producció d'il·lusions està en plena esplendor, sorgeixen noves possibilitats per a nous paradigmes d'entreteniment, aplicacions d'aprenentatge distribuïdes espacialment o eines d'exploració de conjunts de dades massives que es beneficien de la cognició incorporada que resulta de la interacció espacial amb continguts digitals (Stahl [et al.], 2006; Stahl, 2013). Cal destacar que la idea implacable que va impulsar la cerca de la il·lusió perceptiva i es va estendre al llarg de segles d'experimentació artística i científica sembla que cobra impuls en la conjuntura històrica actual: la realitat no satisfà el desig.



Referències bibliogràfiques

- ALBERTI, Leon Battista. *De pictura / De statua*. Traducció a l'anglès de Cecil Grayson, *On Painting / On Sculpture* (1435). Londres: Phaidon, 1972.
- ASSELIN, Olivier. «The City as Gamespace: Alternate Reality Games and Other Fictions». A: Michael Darroch i Janine Marchessault (eds.). *Cartographies of Place: Navigating the Urban*. Montreal, QC: McGill-Queen's. University Press, 2014, p. 141-156.
- BANKER, James R. *Piero della Francesca: Artist and Man*. Oxford: Oxford University Press, 2014.
- BARBER, Terry. «Phantasmagorical wonders: The magic lantern ghost show in nineteenth-century America». *Film History*, 3(2) (1989), p. 73-86.
- BERGSON Henri; DURIE, Robin. *Duration and Simultaneity*. Traducció a l'anglès de Leon Jacobson. Edició original: *Durée et simultanéité* (1922). Indianapolis: The Bobbs-Merrill Company, Inc., 1965.
- BILLINGHURST, Mark; GRASSET, Raphael; LOOSER, Julian. «Designing Augmented Reality Interfaces». *ACM Siggraph Computer Graphics*, 39(1) (2005), p. 17-22.
- BIMBER, Oliver. «The Visual Computing of Projector-Camera Systems». *Computer Graphics Forum*, 27(8) (2008), p. 2219-2245.
- BIMBER, Oliver; RASKAR, Ramesh. *Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds*. Nova York: A K Peters/CRC Press, 2005.
- BORRA, Diego. «Digital Panorama Multisensorial Interactive Environment for National Cinema Museum of Torino». *Digital Heritage International Congress*. Vol 1: Digitization and Acquisition, Computer Graphics and Interaction, 2015, p. 361-364.
- BROCK, Matthew. «De Pictura and the Measurability of Painted Buildings». A: Mário Kruger (ed.). *Na Genese Das Racionalidades Modernas II: Em Torno de Alberti E Do Humanismo* [en línia], 2015, p. 183-198. <https://doi.org/10.14195/978-989-26-1015-3_10> [Consulta: 24 setembre 2025].
- BURIAN, Jarka. «Josef Svoboda: Theatre Artist in an Age of Science». *Educational Theatre Journal*, 22(2) (1970), p. 123-145.
- CASTLE, Terry. «Phantasmagoria: Spectral Technology and the Metaphorics of Modern Reverie». *Critical Inquiry*, 15(1) (1988), p. 26-61.
- CAUDELL, Thomas P.; MIZELL, David W. «Augmented Reality: An Application of Heads-Up Display Technology to Manual Manufacturing Processes». *IEEE Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference*, vol. 2, 1992, p. 659-669.
- CLARKE, David B.; DOEL, Marcus A. «Engineering Space and Time: Moving Pictures and Motionless Trips». *Journal of Historical Geography*, 31(1) (2005), p. 41-60. <<https://doi.org/10.1016/j.jhg.2003.08.022>> [Consulta: 24 setembre 2025].
- CRUZ-NEIRA, Carolina; SANDIN, Daniel J.; DEFANTI, Thomas A.; KENYON, Robert V.; HART, John C. «The CAVE: Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment». *Communications of the ACM*, 35(6) (1992), p. 64-72.
- CRUZ-NEIRA, Carolina; SPRINGER, John P. «An Affordable Surround-Screen Virtual Reality Display». *Journal of the Society for Information Display*, 8(10) (2010), p. 836-843.
- DOURISH, Paul. *Where the Action Is: The Foundations of Embodied Interaction* [en línia]. Cambridge: The MIT Press, 2001. <<https://doi.org/10.7551/mitpress/7221.001.0001>> [Consulta: 24 setembre 2025].

- DUNNING, William V. *Changing Images of Pictorial Space: A History of Spatial Illusion in Painting*. Syracuse, NY: Syracuse University Press, 1991.
- EDGERTON, Samuel Y. «Historiography of Linear Perspective from the Renaissance to Post-Modernism». *Oxford Bibliographies Online Datasets* [en línia], 2014. <<https://doi.org/10.1093/obo/9780199920105-0031>> [Consulta: 24 setembre 2025].
- FERGUSON, Ken. «Volumetric Cinema». A: Matthew Golds i Lauren Klein. *Debates in the Digital Humanities 2019* (2019), p. 335-349.
- FINN-SAISSELIN, Mathieu. *Beyond the Frame: Into Virtual Reality*. París: Paris College of Art, 2018.
- FINN-SAISSELIN, Mathieu; CRUZ, Filipa. «How Does the Audience Experience Art Within a Virtual Environment Today?». *6th International Conference on Illustration and Animation*, 2018, p. 658-667.
- FLIETHMANN, Axel. «Vision Around 1800: The Panorama as Collective Artwork». *Collective Creativity: Collaborative Work in the Sciences, Literature and the Arts* (2011), p. 129-140.
- GABLIK, Suzi. *Progress in Art*. Roma: Rizzoli, 1977.
- GLEIZES, Albert; METZINGER, Jean. *Du 'Cubisme'*. Edició original: 1913. Sisteron: Édition Présence, 1980.
- GOMBRICH, Ernst. *Art and Illusion*. Londres: Phaidon, 2014.
- HANKINS, Thomas. *Instruments and the Imagination*. Princeton: Princeton University Press, 2016.
- HECHT, Hermann. «The History of Projecting Phantoms, Ghosts and Apparitions: Part 1». *The New Magic Lantern Journal*, 3(1) (1983), p. 2-6.
- HOFFMANN, Volker. «Giotto and Renaissance Perspective». *Nexus Network Journal*, 12 (2010), p. 5-32.
- HWANG, Yosep; KIM, Dae W.; ISHII, Taisuke. «A Study of Digital Media Art Utilizing the Contents of the Architecture Cultural Property». *International Journal of Asia Digital Art and Design*, 17 (2013), p. 77-84.
- JASCHE, Florian; LUDWIG, Thomas. «Appropriating 3D Printers in Augmented Reality». *Proceedings of Mensch und Computer 2019 (MuC '19)* [en línia]. Association for Computing Machinery, Nova York, NY, EUA, 2019, p. 901-903. <<https://doi.org/10.1145/3340764.3345377>> [Consulta: 24 setembre 2025].
- KAYE, Nick. «Video Presence: Tony Oursler's Media Entities». *PAJ: A Journal of Performance and Art*, 30(1) (2008), p. 15-30.
- KEMBER, Joe. «The Magic Lantern: Open Medium». *Early Popular Visual Culture*, 17(1) (2019), p. 1-8.
- LANDI, Gabriele. «AR for the Comprehension of Linear Perspective in the Renaissance Masterpiece The Holy Trinity (Masaccio, 1426)». *2014 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality - Media, Art, Social Science, Humanities and Design*, 2014, p. 69-70.
- LEPENIES, Philip. «The Anthropocene: The Invention of Linear Perspective as a Decisive Moment in the Emergence of a Geological Age of Mankind». *European Review*, 26(4) (2018), p. 583-599.
- LINCOLN, Peter; WELCH, Greg; NASHEL, Adam; STATE, Andrei; ILIE, Adrian; FUCHS, Henry. «Animatronic Shader Lamps Avatars». *Virtual Reality (Springer), Special Issue on Augmented Reality* (2010), p. 1-14.

- LONDRES, Barbara. «Video Spaces». *Performing Arts Journal*, 18(3) (1996), p. 14-19.
- LUDWIG, Thomas; DÖLL, Michael; KOTTHAUS, Christoph. «“The Printer is Telling Me about Itself”: Supporting the Appropriation of Hardware by Using Projection Mapping». *Proceedings of the 2019 on Designing Interactive Systems Conference (DIS '19)*. Nova York: Association for Computing Machinery, 2019, p. 331-344.
- MAJUMDER, Aditi; BROWN, Michael S. *Practical Multi-Projector Display Design*. Wellesley: A.K. Peters, 2007.
- MALT, Johanna. «The Blob and the Magic Lantern: On Subjectivity, Faciality and Projection». *Paragraph*, 36(3) (2013), p. 305-323.
- MILGRAM, Paul; TAKEMURA, Haruo; UTSUMI, Akira; KISHINO, Fumio. «Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum». *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, 2351 (1994), p. 282-292.
- MINE, Mark; VAN BAAR, Jeroen; GRUNDHOFER, Anselm; ROSE, David; YANG, Bei. «Projection Based Augmented Reality in Disney Theme Parks». *Computer*, 45(7) (2012), p. 32-40.
- NAIMARK, Michael. «Spatial Correspondence in Motion Picture Display». *Optics in Entertainment II SPIC*, 462 (1984), p. 78-91.
- NARITA, Gaku; WATANABE, Yoshihiro; ISHIKAWA, Masatoshi. «Dynamic Projection Mapping onto a Deformable Object with Occlusion Based on High-Speed Tracking of Dot Marker Array». *Proceedings of the 21st ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, 2015, p. 149-152.
- NGUYEN, David; CANNY, John. «Multiview: Spatially Faithful Group Video». *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (2005), p. 799-808.
- PAVEL, Laura. «Aesthetic Negotiations of Identity – Between Embodied and Disembodied Performance». *Ekphrasis. Images, Cinema, Theory, Media*, 13(1) (2015), p. 80-90.
- PFEIFFER, Christian; LOPEZ, Christophe; SCHMUTZ, Valentin; DUEÑAS, Julio; MARTUZZI, Roberto; BLANKE, Olaf. «Multisensory Origin of the Subjective First-Person Perspective: Visual, Tactile, and Vestibular Mechanisms». *PLoS ONE*, 8(4) (2013), e61751.
- PLOEBST, Helmut. «Apparat und Abstraktion. Die Konstruktion des Körpers in der transmedialen Choreographie». A: Helmut Ploebst i Nicole Haitzinger (eds.). *Versehen: Tanz in allen Medien*. Múnic: epodium Verlag, 2011, p. 52-75.
- PLUTA, Iwona. «Instance: Robert Lepage and Ex Machina, The Andersen Project». A: Alexandra Evans, Sarah Bay-Cheng, Chiel Kattenbelt, Andy Lavender i Robin Nelson (eds.). *Mapping Intermediality in Performance*, 22(2). Amsterdam: Amsterdam University Press, 2010, p. 191-197.
- PRINCE, Stephen. «Immersive Aesthetics». A: *Digital Visual Effects in Cinema: The Seduction of Reality*. New Brunswick: Rutgers University Press (2012), p. 183-220.
- RASKAR, Ramesh. «Shader Lamps: Animating Real Objects with Image Based Illumination». A: *Proc. 12th Eurographics Workshop on Rendering Techniques*. Londres: Springer-Verlag (2001), p. 89-102.
- RAYNAUD, Dominique. «Fact and Fiction Regarding Masaccio's Trinity Fresco». *Studies on Binocular Vision*. Archimedes [en línia], vol 47. Springer, 2016. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-42721-8_4> [Consulta: 24 setembre 2025].

- SÁNCHEZ, Antonio. «La Fura Dels Baus and the Legacy of Antonin Artaud». *Contemporary Theatre Review*, 16(4) (2006), p. 406-418.
- SCHETNIKOV, Andrei. «Architectural Perspective in Italian Paintings of the 14th Century». *Schole-Filosofskoe Antikovedenie I Klassicheskaya Traditsiya-Schole-Ancient Philosophy and the Classical Tradition*, 14(1) (2020), p. 339-365.
- SCHREIBMAN, Susan; SIEMENS, Ray; UNSWORTH, John (eds.). *A New Companion to Digital Humanities*. Malden: Blackwell Wiley, 2016.
- SCHWARTZ, Louis F. «Computer-Aided Illusions: Ambiguity, Perspective and Motion». *Visual Computer*, 14(2) (1988), p. 52-68.
- SHAW, Jeffrey. «ID Cine». *Zentrum für Kunst Und Medientechnologie Karlsruhe ZKM*, 2001(3), (2001), p. 1-6.
- SHAW, Jeffrey; WEIBEL, Peter (eds.). *Future Cinema: The Cinematic Imaginary After Film*. Karlsruhe: Zentrum für Kunst und Medientechnologie Karlsruhe ZKM, 2003.
- STAHL, Gerry. «Theories of Cognition in Collaborative Learning». A: Cindy Hmelo-Silver, Clark Chinn, Carol Chan i Angela O'Donnell (eds.). *The International Handbook of Collaborative Learning*. Nova York: Routledge, 2013, p. 74-91.
- STAHL, Gerry; KOSCHMANN, Timothy; SUTHERS, Daniel D. «Computer-Supported Collaborative Learning: An Historical Perspective». A: R. Keith Sawyer (ed.). *Cambridge Handbook of the Learning Sciences*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2006, p. 409-426.
- SUTTON, Gloria. «Paradigms of Display: Movie-Drome as Information Arrangement». A: *The Experience Machine: Stan VanDerBeek's Movie-Drome and Expanded Cinema*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2015, p. 147-160.
- SVOBODA, Tomáš; MARTINEC, Daniel; PAJDLA, Tomáš. «A Convenient Multi Camera Self Calibration for Virtual Environments». *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 14(4) (2005), p. 407-422.
- SWAN, Claudia. «Eyes Wide Shut - Early Modern Imagination, Demonology, and the Visual Arts». *Zeitsprünge. Forschungen Zur Frühen Neuzeit*, 7(4) (2003), p. 156-181.
- SZELISKI, Richard. *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Londres: Springer, 2011.
- TONE, Daiki; IWAI, Daisuke; HIURA, Shinsaku; SATO, Kosuke. «FibAR: Embedding Optical Fibers in 3D Printed Objects for Active Markers in Dynamic Projection Mapping». *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 26(5) (2020), p. 2030-2040.
- URICCHIO, William. «A "Proper Point of View": The Panorama and Some of Its Early Media Iterations». *Early Popular Visual Culture*, 9(3) (2011), p. 225-238.
- VERSTEGEN, Ian. «A Classification of Perceptual Corrections of Perspective Distortions in Renaissance Painting». *Perception*, 39(5) (2010), p. 677-694.
- WADE, Nicholas J.; HUGHES, Patrick. «Fooling the Eyes: Trompe l'oeil and Reverse Perspective». *Perception*, 28(9) (1999), p. 1115-1119.
- WELLNER, Galit. «Posthuman Imagination: From Modernity to Augmented Reality». *Journal of Posthuman Studies*, 2(1) (2018), p. 45-66.
- WYELD, Theodor. «3D Information Visualization: An Historical Perspective». *Proceedings of the Ninth International Conference on Information Visualization*, 2005, p. 593-598.
- YOUNGBLOOD, Gene. *Expanded Cinema*. Nova York: E. P. Dutton & Co., Inc., 1970.