Building and Environment 59 (2013) 678-689

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Building and Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/buildenv

Una anàlisi holística i multinivell per identificar l'impacte del disseny d'una aula en l'aprenentatge dels alumnes

Peter Barrett*, Yufan Zhang, Joanne Moffat, Khairy Kobbacy

School of the Built Environment, Maxwell Building, University of Salford, Salford M5 4WT, Regne Unit

i n f o a r t i c l e

Història de l'article:
Rebut el 3 d'agost del 2012
Rebut en forma revisada el 21 de setembre del 2012
Acceptat el 22 de setembre del 2012

Paraules clau:
Disseny escolar
Impacte en l'aprenentatge
Model multinivell
Holístic
Multisensorial
Proves

a b s t r a c t e

L'objectiu d'aquest estudi és comprovar si hi ha indicis per demostrar que el disseny dels edificis escolars influeix en el ritme d'aprenentatge dels alumnes de primària.

S'han desenvolupat hipòtesis per a 10 paràmetres de disseny dins d'un context de neurociència amb tres principis de disseny. S'han comparat amb les dades recollides de 751 alumnes de 34 aules diverses, de set escoles diferents del Regne Unit. El model multinivell desenvolupat explicava el 51% de la variabilitat en els entorns d'aprenentatge dels alumnes durant un any escolar. Ara bé, dintre d'això, s'ha identificat un nivell elevat d'explicació (73%) a nivell de classe, associat totalment a sis paràmetres de l'entorn construït: color, opció, connexió, complexitat, flexibilitat i llum.

Aquest model s'ha utilitzat per preveure l'impacte dels sis paràmetres de disseny en el progrés dels alumnes. En comparar la "millor" i la "pitjor" aula de la mostra, s'ha descobert que tan sols aquests factors tenen un impacte equivalent al progrés típic d'un alumne durant un any. També ha estat possible calcular l'impacte proporcional d'aquests factors de l'entorn en el progrés dels alumnes, dins del conjunt de tots els factors que hi influeixen. De mitjana, hi ha contribuït en un 25%.

Això demostra clarament l'impacte de l'entorn construït en el progrés dels alumnes i ressalta com n'és d'important que els responsables polítics, dissenyadors i usuaris ho tinguin en compte. Malgrat això, degut a l'ampli ventall de factors que formen part d'aquest enfocament holístic, el disseny dels espais d'aprenentatge encara suposa un repte important.

© 2012 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introducció

L'impacte multisensorial que els entorns construïts produeixen en els humans és una qüestió complexa i d'actualitat, tal com han demostrat alguns treballs recents. Per exemple, Bluyssen et al. [1] parlen de la importància de les interaccions complexes a l'hora d'entendre la qualitat de l'entorn interior (QEI). Suggereixen que els factors individuals «...poden provocar conseqüències activament o a través d'interaccions complexes (sinergètiques o hostils)» (p. 2632). Huang et al. [2] ressalten el caràcter interactiu de la QEI, i afirmen que «els paràmetres físics de l'entorn estan interrelacionats i la sensació de confort és un estat compòsit que incorpora les sensacions d'un ocupant davant de tots aquests factors» (p. 305). Cao et al. [3] afirmen que «els investigadors s'han adonat que el desconfort dels individus normalment no està determinat per un factor individual, sinó que reflecteix la integració d'influències psicològiques i fisiològiques provocades per molts factors alhora». Kim i de Dear [4] ofereixen arguments potents per demostrar que, actualment, no hi ha un consens pel que fa a la importància relativa de factors de la QEI que satisfaci en general.

En aquest context desafiant, els realitzadors d'aquest estudi ens vam proposar veure de manera multidimensional i holística l'entorn construït en què viuen i treballen els humans (alumnes, en aquest cas), i vam mirar de descobrir el seu impacte en el benestar i el rendiment del humans (en aquest cas, un aprenentatge millorat) i explicar-lo.

L'objectiu principal d'aquest estudi era «comprovar si el disseny dels edificis escolars influeix en el ritme d'aprenentatge dels alumnes de primària». Aquest és un repte significatiu, si tenim en compte les limitacions dels recursos disponibles per mesurar el rendiment humà, el fet que els alumnes passen la major part del seu temps en una sola aula, i la importància que la societat atorga a maximitzar el rendiment dels alumnes.

2. Enfocament teòric

2.1. Visió general de la metodologia proposada

Estudiar l'impacte holístic dels espais construïts en humans «en estat salvatge» és força difícil. Per tant, aquest projecte beu de l'experiència

* Autor responsable per a la correspondència. Tel.: + 44 0 7836 704 743
Correus electrònics: p.s.barrett@salford.ac.uk (P. Barrett), y.zhang2@salford.ac.uk (Y. Zhang), k.a.h.kobbacy@salford.ac.uk (K. Kobbacy).

0360-1323/$ - see front matter © 2012 Elsevier Ltd. All rights reserved.
http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.09.016

metodològica de quatre estudis centrals (que a partir d'ara anomenarem A, B, C o D):

- L'estudi de Zeisel et al. [5] sobre l'impacte holístic de les residències en pacients amb Alzheimer (A).
- L'estudi d'Ulrich [6] sobre l'impacte de tenir vistes sobre la natura en pacients d'hospital (B).
- L'estudi de Heschong Mahone [7] sobre la llum natural i el seus efectes en l'aprenentatge dels alumnes (C).
- L'estudi de Tanner [8] sobre el disseny de les escoles (D).

L'element central d'aquest estudi va ser una avaluació experta de diferents aules utilitzant un model basat en la relació Entorn-Humà-Rendiment (E-H-R) (A) que permet mesurar, i per tant avaluar, els espais construïts i el seu impacte en els humans. Vam sotmetre curosament els instruments de prova i els «indicadors» (A) a assajos. Vam cercar una mostra variada d'escoles de diferents mides i tipus. Dins de cada escola, vam escollir una mostra d'aules diverses, en funció de les seves característiques físiques (orientació, nivell, mida, etc.). Això va ser la base del calibratge del model E-H-R. La diversitat dels espais-mostra és important a l'hora d'oferir el màxim d'oportunitats perquè l'impacte dels factors físics es faci evident (A, B, C). Vam decidir seguir un enfocament basat en hipòtesis per tal que els aspectes del model oferissin relacions lògiques i estadístiques alhora. Això evita el problema de categories fortament superposades (D).

A més a més d'aconseguir diversitat en la variable independent principal subjecte d'estudi (els espais físics), calia seleccionar variables dependents consistents en tota la mostra, i mesurar (C) o controlar (A, B) altres variables independents. A l'hora de centrar-nos en la selecció de variables dependents, les converses amb experts educatius de l'Autoritat Educativa de Blackpool (Regne Unit) van ser d'una gran utilitat. Les mesures disponibles per a alumnes de primària, que s'apliquen regularment a tot el Regne Unit, tenen el seu origen en avaluacions d'alumnes individuals per part de mestres, basades en el National Curriculum Assesment Framework (marc nacional d'avaluació curricular) que estableix diferents «nivells» d'assoliment. Almenys en el cas de Blackpool, aquestes dades estan subjectes a una gestió independent a través d'una mostra del 25% dels alumnes. S'avaluen els nivells que assoleixen en Lectura, Escriptura i Matemàtiques. L'esforç i els coneixements que han servit per crear aquestes avaluacions són molt superiors a qualsevol cosa que el nostre equip pogués reproduir i, a més a més, les mesures són ben familiars per als treballadors educatius i d'altres sectors. Per tant, era evident que havíem d'emprar aquestes mesures si hi podíem tenir accés.

L'avaluació de l'impacte de l'entorn construït en el rendiment dels alumnes es veu dificultat per d'altres variables independents significatives. Vam reduir els riscos d'aquesta avaluació amb la inclusió explícita dels factors addicionals principals (A,C) en l'anàlisi. L'obstacle principal és la variabilitat entre els alumnes en diferents aules i escoles, però vam afrontar aquest obstacle fixant-nos en el progrés assolit al llarg d'un any, és a dir, calibrant nosaltres mateixos la variabilitat entre els alumnes. Això ens va permetre utilitzar el nivell inicial de rendiment/edat, que creiem que determina gran part del progrés obtingut, cosa que derivaria en qüestions de destresa individual i alguns efectes del rerefons social i econòmic. Vam recollir dades individuals anònimes, i hi vam incloure informació de gènere per tal de poder buscar possibles diferències entre nois i noies. Som conscients que també existeixen altres factors escolars que hi influeixen. Els elements físics es van incorporar com a variables E-H-R mesurables, però això omet elements com ara la qualitat dels mestres i el caràcter distintiu de l'escola en general (C). La identificació de grups d'alumnes en classes i grups de classes en diferents escoles ofereix una manera potencial d'avaluar aquests factors a través de modelatge multinivell (vegeu a continuació).

2.2. El desenvolupament d'un model d'entorn-humà-rendiment (EHR)

Vam operacionalitzar una perspectiva holística dels efectes multi-sensorials de l'entorn construït a través de la hipòtesi que les

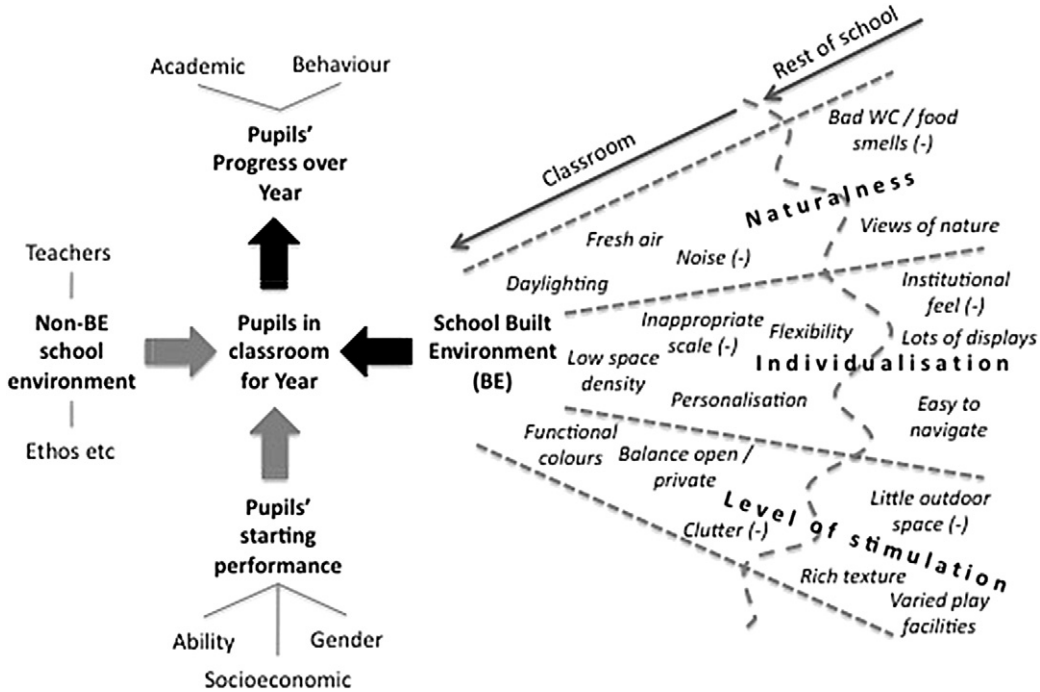

Fig. 1. Resum del disseny de la investigació HEAD (amb exemples de factors amb relació a l'entorn edificat).

característiques del funcionament del cervell a l'hora de sintetitzar les dades sensorials rebudes remarca la importància de tres principis generals de disseny pel que fa l'entorn: la naturalitat, la individualització i un nivell apropiat d'estimulació. En aquest cas, aquests es relacionen, respectivament, amb: les nostres necessitats animals bàsiques, les necessitats dels alumnes en particular, i les implicacions de les circumstàncies d'aprenentatge escolar. Vam utilitzar aquest marc ampli per guiar la selecció de les dimensions físiques que calia mesurar, i ho vam fer treballant dins un context constituït pels múltiples estudis específics publicats [10], a més d'una sèrie d'avaluacions de l'espai escolar dutes a terme sense la presència dels ocupants [11] i d'enquestes sobre l'opinió d'alumnes i mestres [12, 13].

Vam desenvolupar encara més aquest marc prenent 10 paràmetres de disseny [10] i associant cadascun dels paràmetres a un o dos indicadors provinents de la literatura i de l'experiència en treball de camp de l'equip. Després d'haver visitat els llocs d'estudi i d'haver reflexionat acuradament, vam identificar 37 factors per guiar el mesurament dels indicadors, i per tant els paràmetres de disseny. Vam utilitzar una escala de cinc nivells en cada cas per indicar fins a quin punt es considerava que cada element en l'aula en qüestió afavoriria la capacitat d'aprenentatge d'un alumne; per exemple: 5 = molt bo, 1 = molt pobre. La taula 1 resumeix els factors de disseny que suposàvem que afectarien el progrés d'un alumne.

3. Mètodes

En aquest apartat tractarem primer el nivell escola/aula i després el nivell dels alumnes individuals. Acabarem amb una descripció del model multinivell de modelatge emprat.

3.1 Escoles/aules

El Consell de Blackpool ens va donar accés a deu escoles, de les quals vuit eren escoles primàries normals i corrents i dues eren escoles especials. Per a aquesta anàlisi ens vam centrar en les vuit escoles "normals". Cal dir, però, que durant l'estudi una va deixar de participar; per tant, aquest treball utilitza les dades de set escoles. Tots els centres estudiats tenen característiques pròpies pel que fa a la ubicació, la mida, l'orientació i la distribució.

Ens vam centrar en escoles de primària que seguien el criteri següent:

- Centres construïts expressament per a l'educació primària.
- Un campus clarament distint amb els límits ben marcats.
- Espais útils interiors i exteriors.
- Proves estandarditzades realitzades per tots els alumnes.

La Taula 2 resumeix una sèrie de característiques de les escoles i demostra un bon nivell de varietat en la mostra, la qual cosa hauria de facilitar una anàlisi significativa.

El treball de camp es va dur a terme de manera semblant a cada escola. Vam fer dues visites: la primera incloïa una entrevista amb el director (o subdirector) per explicar-li les raons per a l'estudi i els procediments de la investigació. Llavors, el director ens donava la seva visió experta sobre el context general de l'escola i els elements més crítics de l'edifici. Finalment, una ruta guiada per les instal·lacions ens donava una perspectiva addicional del centre i les seves aules.

Basant-nos en la informació recollida a la visita inicial, vam escollir set aules per la seva diversitat en aspectes, com ara l'edat dels alumnes. Aquestes aules es van convertir llavors en l'objectiu de la segona visita. Vam crear una llista de tasques per a l'avaluació de cada aula, dividida en tres parts:

(a) Observació – descrivíem acuradament l'espai amb un dibuix detallat de l'aula que incloïa elements com ara la distribució, decoració, il·luminació, tipus de terra, color, vistes, obertures, mida i posició.

(b) Mesurament – mesuràvem paràmetres físics bàsics de l'entorn interior, com ara el nivell d'il·luminació, la temperatura, i els nivells de soroll i de CO_2. En aquesta visita, buscàvem qualsevol característica extrema de l'aula. També mesuràvem l'altura dels sostres i de les finestres, i la mida dels mobles en associació amb l'avaluació de l'aula.

(c) Entrevista – entrevistàvem els mestres de cada aula amb l'objectiu d'explorar creences i sentiments complexos. A l'entrevista, ens fixàvem en la comoditat sensorial, tenint en compte elements com ara la temperatura, l'enlluernament, el soroll, les olors i els espais d'emmagatzematge. Aquesta era una oportunitat per avaluar qualsevol variació probable en l'experiència de l'aula al llarg de l'any.

Basant-nos en el conjunt de dades provinents d'aquestes investigacions, vam considerar els 37 factors identificats en el model E-H-R (veieu Taula 1). Vam haver d'ometre algunes aules a causa de buits en la informació sobre els alumnes (veieu a continuació), i per tant només vam incloure 34 aules en l'anàlisi final. La Taula 3 mostra les diferències entre aquestes aules pel que fa als paràmetres E-H-R de disseny. En general, no hi va haver cap aula individual que rebés una puntuació consistentment baixa o alta en totes les àrees. Tot i així, sí que n'hi va haver que van rebre una puntuació relativament alta o baixa.

Aquesta variació en les dades de la mostra hauria de facilitar l'anàlisi de l'impacte dels diferents paràmetres del disseny en la variable dependent del ritme d'aprenentatge dels alumnes.

3.2 Alumnes

Les dades sobre els alumnes pertanyen als alumnes. Per tant, juntament amb Blackpool, vam dissenyar un procés no-contenciós per obtenir el consentiment dels pares a través dels centres escollits. D'aquesta manera, el Consell de Blackpool ens va proveir de dades sobre 1.419 alumnes de 47 aules a les set escoles escollides.

Vam tenir en compte els factors següents:

- El nivell TA inicial de l'alumne en lectura, escriptura i matemàtiques.
- El nivell TA final de l'alumne en lectura, escriptura i matemàtiques.
- L'edat real – l'edat de l'alumne a l'inici de l'any acadèmic (en mesos).
- Els mesos d'edat – és el nombre de mesos des de l'últim aniversari de l'alumne a l'inici de l'any acadèmic. Per exemple, un valor del 0 vol dir que l'alumne havia fet anys al darrer mes.

El nivell TA és una mesura del progrés d'un alumne a l'escola. Els nivells TA no es mesuren en una escala contínua. Un alumne de primària pot rebre la qualificació més baixa (P), o un nivell més alt que va de l'1 al 5, i que alhora es pot dividir en subnivells a, b o c. De totes maneres, aquests nivells també es poden convertir en un sistema de punts equivalent (veieu la Taula 4), per poder avaluar els alumnes amb una escala contínua.

La Taula 5 presenta estadístiques descriptives dels punts TA assignats als alumnes al principi de l'any sumant les tres matèries, el total de punts assignats al final de l'any i el total de punts de millora durant l'any estudiat. Alguns alumnes van rebre una puntuació més baixa al final de l'any que no al principi. La diferència entre els punts inicials i finals anava de -10 a 34 punts, amb una mitjana de 11 punts de millora. Aquestes dades demostren un nivell de variació important, la qual cosa ens convé per analitzar possibles factors influents.

Taula 1
Model factors E-H-R.

Principis de disseny	Paràmetres de disseny	Indicadors	Factors	Característiques per a una puntuació alta
Naturalitat	N1 Llum	A La qualitat i quantitat de llum natural que pot rebre l'aula	1 Orientació de l'aula	La claror pot entrar a l'aula des de més d'una orientació, i el costat sud està encarat al recorregut del sol durant la major part de l'any.
			2 Àrea d'obertura/terra	L'aula pot rebre més claror si la ràtio és més alta.
			3 El punt més distant a les obertures	La distribució del nivell de claror pot ser major fins i tot quan aquest valor és menor.
		B El grau en què es pot controlar el nivell d'il·luminació manualment	4 Qualitat de la il·luminació elèctrica	Més il·luminació elèctrica de major qualitat pot oferir un millor entorn visual.
			5 Control de les proteccions solars	Les persianes són preferibles a les cortines; totes les persianes estan en bones condicions; l'espai vora la finestra no està obstruït.
	N2 Soroll	C Freqüència de sorolls molestos	6 Soroll de l'exterior de l'escola	L'aula és lluny de vies de trànsit i hi ha una franja d'amortiment entre l'aula i les vies de trànsit.
			7 Soroll de l'interior de l'escola	Les finestres estan encarades cap a una zona tranquil·la; no hi ha cap espai altament transitat vora l'aula; els peus de les cadires tenen protectors de goma.
		D El grau en què els alumnes poden sentir amb claredat les paraules del mestre	8 Mida i forma (llargada/amplada)	Els alumnes es poden concentrar millor en les paraules del mestre si la planta de l'aula és rectangular i no quadrada.
			9 Zona d'estora	Com més gran sigui la zona d'estora, és menor el temps de reverberació.
	N3 Temperatura	E El grau en què els alumnes es troben còmodes a l'hivern i a l'estiu	10 Quantitat d'escalfor solar	Les habitacions encarades cap al sud poden rebre més escalfor solar que les altres.
		F La qualitat del sistema de calefacció	11 Control de la calefacció	L'escalfor radial és millor a l'hora de distribuir l'escalfor uniformement.
	N4 Qualitat de l'aire	G La freqüència de l'aire contaminat que entra a l'aula	12 Aire contaminat de dins de l'aula	Normalment, el nivell de CO_2 és menor quan hi ha el mateix nombre de persones en un espai que és més gran.
			13 Aire contaminat provinent d'altres espais	L'aula és lluny de zones amb aire contaminat, com ara el vàter.
		H El grau en què es pot regular manualment la sensació de tancat	14 Mida de les obertures	El canvi d'aire és més ràpid quan les obertures són més grans.
			15 Opcions d'obertura	Diferents posicions d'obertura poden donar als ocupants més opcions per augmentar el moviment de l'aire.
Individualització	I1 Opció	I El grau en què les diferents característiques de l'aula permeten un sentiment de pertinença	16 "Aquesta és la nostra aula!"	Qualsevol element de disseny que dóna un caràcter particular a l'aula facilita un sentiment de pertinença.
		J El grau en què els mobles i el material són còmodes i familiars, i faciliten l'aprenentatge i l'ensenyament	17 Qualitat dels mobles i el material	L'equipament és còmode i d'alta qualitat, i facilita les activitats d'aprenentatge.
			18 Cadires i pupitres de qualitat	Les cadires i els pupitres són còmodes, interessants i ergonòmics.
	I2 Flexibilitat	K El grau en què els alumnes poden conviure sense fer-se nosa els uns als altres	19 Mida de la zona d'activitats de l'alumne	Un espai ampli ajuda als alumnes a aprendre.
			20 Adaptabilitat de la configuració de l'aula	Si el mestre pot canviar fàcilment la configuració de l'espai, es poden adaptar més els mètodes d'ensenyament a les necessitats dels alumnes.
		L El grau en què la distribució de l'aula permet mètodes i activitats d'aprenentatge variades	21 Zones per a activitats d'aprenentatge variades	Si hi ha més espais, es poden dur a terme diferents activitats d'aprenentatge a l'hora.
			22 Espai agradable (o útil) annex a l'aula	Els espais per a l'emmagatzematge o el descans estan sempre disponibles i no s'empren per a altres coses.
	I3 Connexió	M Un passadís ample i net i objectes orientatius amb destinacions identificables	23 Ús del passadís	No s'utilitza com a magatzem o zona de descans.
			24 Amplada del passadís	Com més ample és el passadís, els alumnes es poden desplaçar més ràpidament.
		N Passadís clar i orientatiu	25 Passadís clar i orientatiu	Imatges grans i visibles o d'altres marques al llarg del passadís.
			26 Accés segur i ràpid a les instal·lacions escolars	L'aula és a prop de l'entrada principal i d'altres espais especialitzats, com ara la biblioteca, la sala de música, el menjador, etc.
Estimulació a nivells adequats	S1 Complexitat	O El grau en què l'escola ofereix una diversitat apropiada (novetat)	27 Campus / nombre total d'alumnes al centre	Com més gran sigui el campus, més oportunitats té el centre d'oferir als alumnes activitats i patrons d'aprenentatge variats a l'exterior.
			28 Edifici / nombre total d'alumnes al centre	Com més gran sigui l'edifici, més oportunitats té l'escola per oferir sales i espais d'aprenentatge alternatius.
		P El grau en què l'aula ofereix una diversitat suficient (novetat)	29 Diversitat (novetat)	La decoració interior desperta l'interès dels alumnes, però es combina amb un grau d'ordre. S'espera que la diversitat o atipicitat serveixin per estimular els alumnes.

(continua a la pàgina següent)

Taula 1 (continuació)

Principis de disseny	Paràmetres de disseny		Indicadors		Factors		Característiques per a una puntuació alta
Estimulació a nivells adequats	S1	Complexitat	P	El grau en què l'aula ofereix una diversitat suficient (novetat)	30	Qualitat de les presentacions visuals	Les presentacions visuals estimulen els alumnes si estan ben dissenyades i són ordenades. Idealment, no han de donar una sensació de desordre o de massa complexitat. S'espera que la diversitat o atipicitat serveixin per estimular els alumnes.
	S2	Color	Q	El grau en què es pot controlar el nivell d'il·luminació manualment	31	Color de l'aula	Les parets i el terra són de colors triats acuradament. Convé tenir en compte l'edat dels alumnes; els colors càlids poden complementar el caràcter extravertit d'un alumne jove, mentre que els colors frescos poden facilitar la concentració a alumnes de més edat.
					32	Color dels mobles	Els mobles són de colors triats acuradament. Es té en compte l'edat dels alumnes (igual que 31).
					33	Color de les presentacions visuals	Les presentacions visuals són de colors triats acuradament. Es té en compte l'edat dels alumnes (igual que 31).
	S3	Textura	R	El grau en què els alumnes poden sentir amb claredat les paraules del mestre	34	Vista llunyana	Hi ha un camp ampli de visió, amb cel, zones urbanes i rurals llunyanes, i paisatge.
					35	Vista propera	La vista està plena d'elements naturals, com ara gespa, jardins, estanys, arbres, etc.
			S	El grau en què els alumnes es troben còmodes a l'hivern i a l'estiu	36	Qualitat dels jocs exteriors	Els alumnes tenen un gran espai de joc a l'exterior, idealment a tocar de l'aula.
					37	Alternatives d'aprenentatge	Els alumnes tenen oportunitats d'aprenentatge variades fora de l'aula.

A partir de les dades que ens va oferir Blackpool, vam calcular la variable resultant «progrés de l'alumne» de la manera següent:

- Calculàvem el grau de millora en la puntuació TA de cada alumne en lectura, escriptura i matemàtiques al llarg de l'any 2010/2011. Per tal de fer-ho, restàvem els resultats inicials als resultats finals.
- Tot seguit, sumàvem les millores de cada alumne en les diferents àrees.
- Finalment, estandarditzàvem el grau de millora de cada alumne restant la millora mitjana de tots els alumnes analitzats i dividint el valor resultant per la desviació estàndard de tots els alumnes.

Després d'analitzar les dades resultants vam decidir eliminar alguns alumnes de l'anàlisi per una sèrie de raons. Un dels problema que ens vam trobar va ser que el progrés dels alumnes a P5 s'avalua de manera diferent als d'altres anys i, per tant, els dos sistemes d'avaluació no són comparables. A més, el Consell de Blackpool ens va proporcionar aquestes avaluacions alternatives com a nivell inicial dels alumnes a 1r de Primària d'algunes escoles. Per això, vam decidir eliminar de l'anàlisi les classes de P5 i 1r de Primària en què es mesurava el nivell inicial dels alumnes amb aquest sistema alternatiu. A causa d'això, es van excloure set classes de P5 i cinc classes de 1r de Primària de l'anàlisi (veieu la Taula 6), amb 207 i 147 alumnes respectivament. També vam eliminar una classe més, perquè hi faltaven dades sobre el nivell inicial dels alumnes. En un futur, tornarem a examinar el problema dels diferents sistemes d'avaluació i, com a mínim, farem un estudi particular de les classes de P5.

En alguns casos, el Consell de Blackpool no ens va poder proporcionar els nivells inicials i finals d'alguns alumnes individuals, possiblement per culpa de canvis en les poblacions de les escoles. Per calcular el progrés educatiu d'un alumne, era necessari disposar de dades per a tots sis valors, i per això vam haver d'excloure 283 alumnes més. Per tant, al final, vam emprar les dades de 751 alumnes en el procés de modelatge, un 53% del total.

Dels alumnes finalment inclosos a l'estudi, un 50% eren noies i un 50% nois. A més a més, també hi havia una distribució força regular dels mesos de naixement dels alumnes. D'altra banda, el nombre d'alumnes emprat per desenvolupar el model estava distribuït de manera regular en les diferents escoles. Generalment, el dia escolar està fixat, amb una hora d'inici i una hora final estàndards. Típicament, tots aquests alumnes s'estaven a les aules a l'hora d'estudiar i jugar, és a dir, entre un 50-80% del temps en un dia escolar. Per tant, és raonable pensar que l'entorn físic de l'aula pugui influir en l'aprenentatge dels alumnes. Utilitzant les dades que ens va proporcionar el Consell de Blackpool, vam crear cinc factors no-ambientals, anomenats a «nivell d'alumne» com a control per als factors ambientals:

- Edat real: proporcionat pel Consell de Blackpool.
- Mesos d'edat: proporcionat pel Consell de Blackpool.
- Sexe: proporcionat pel Consell de Blackpool.
- Ponderació inicial: és el nivell inicial global de cada alumne. Per calcular el nivell inicial global, sumàvem tots els nivells inicials de l'alumne en lectura, escriptura i matemàtiques. Després, estandarditzàvem aquest valor restant el nivell inicial mitjà de tots els alumnes (és a dir, tots els 751 alumnes analitzats), i finalment dividíem el resultat per la desviació estàndard de tots els alumnes analitzats.
- Ponderació inicial segons l'edat: el nivell inicial global de qualsevol alumne depèn molt de la seva edat. Per tant, vam decidir calcular un factor que indiqués si el nivell inicial global d'un alumne estava per sobre o per sota del de l'alumne mitjà d'aquella edat. Per crear aquest factor, sumàvem els nivell inicials en lectura, escriptura i matemàtiques d'un alumne. A continuació, en restàvem el nivell inicial mitjà d'un alumne de la mateixa edat (calculat a partir de les dades), i dividíem aquest valor per la desviació estàndard d'un alumne de la mateixa edat (calculada a partir de les dades).

Taula 2
Informació bàsica sobre les escoles investigades.

	Any de construcció	Solar	Situació	Àrea del campus (m^2)	Àrea de la planta baixa (m^2)	Total de l'àrea interior (m^2)	Total d'alumnes	Edats
Escola 1	2002	Obert	Suburbà	15.621	2905	3059	451	3-11
Escola 2	Anys 70	Compacte	Urbà	7244	1880	1880	79	2-19
Escola 3	Anys 70	Obert	Suburbà	30.316	3346	3466	430	3-11
Escola 4	2000	Compacte	Suburbà	7229	3467	4407	442	3-11
Escola 5	1920	Compacte	Suburbà	7938	3039	4300	619	4-11
Escola 6	1902	Compacte	Urbà	7212	3412	5666	464	3-11
Escola 7	2006	Compacte	Urbà	9950	2237	5389	480	3-11
Escola 8	1900	Compacte	Urbà	1754	935	1130	211	4-11
Escola 9	1990	Obert	Suburbà	17751	1667	1667	143	3-11
Escola10	Anys 50	Compacte	Suburbà	858	183	366	12	4-15

Cal afegir que per tenir en compte l'efecte d'un mestre en el ritme d'aprenentatge d'un alumne, vam intentar obtenir les puntuacions OFSTED (Oficina per a estàndards en l'educació, els serveis per als infants i habilitats infantils del govern del Regne Unit)dels mestres. Ara bé, el Consell de Blackpool només ens va poder proporcionar aquestes dades per a dues escoles, de manera que no ho vam poder incorporar al model. D'altra banda, amb la informació sobre mestres que vam poder obtenir de tres escoles, sabem que hi havia una variació sorprenentment petita en les avaluacions. Això podria indicar que hi un nivell força regular en el sistema educatiu nacional. A més a més, vam poder aïllar el grau d'influència del mestre a través del l'anàlisi multinivell que descrivim a continuació.

3.3. Estratègia de modelatge multinivell

La nostra estratègia analítica es va centrar, primer de tot, en investigar la correlació entre els factors rellevants i el rendiment d'un alumne, per tal d'obtenir una impressió inicial de quins factors hi podrien influir significativament. Per a l'anàlisi principal, vam emprar un enfocament de modelatge multinivell [14] que determinés els factors significativament més influents en el rendiment dels alumnes. Vam decidir que aquest era l'enfocament més adequat, ja que permetia mostrar l'estructura jerarquitzada de les dades (alumnes en aules en escoles), i no conduïa a resultats enganyosos per culpa de l'assignació excessiva d'importància.

Per a aconseguir unes dades objectives, calia buscar una manera rigorosa d'afrontar els «efectes d'alumnes», «efectes de classe» i «efectes d'escola» no-mesurats, i permetre la partició de variàncies a cada nivell. El modelatge multinivell ha estat provat extensivament en la recerca educativa: a la Universitat de Bristol existeix un centre de suport especialitzat i l'estudi dut a terme per Ziesel sobre els efectes de l'entorn construït en pacients amb Alzheimer (A) també i va emprar aquest model amb èxit. Per dur a terme el modelatge [15] vam emprar un programa especialitzat disponible comercialment. Vam considerar que amb set escoles no n'hi havia prou per fer l'anàlisi multinivell al nivell escolar, però ho tornarem a examinar en estudis futurs, en què disposem de dades d'un nombre més gran d'escoles.

Taula 3
Estadístiques descriptives per a paràmetres de disseny a 34 aules.

Paràmetre	N	Mínim	Màxim	Mitjana	Desviació estàndard
Llum	34	2,20	4,23	3,3431	0,47804
Soroll	34	2,08	4,38	3,4093	0,64096
Temperatura	34	2,00	4,13	3,1949	0,69235
Qualitat de l'aire	34	2,22	4,56	3,3431	0,56927
Naturalitat	34	1,75	4,63	3,3051	0,61483
Opció	34	1,13	3,88	2,4706	0,68469
Flexibilitat	34	1,50	4,31	2,8562	0,81128
Connexió	34	2,50	4,50	3,2647	0,45202
Complexitat	34	2,25	4.25	2,9779	0,52356
Color	34	1,83	4,46	2,9449	0,69356
Textura	34	2,20	4,23	3,3431	0,47804
Estimulació	34	2,08	4,38	3,4093	0,64096

En més detall, els passos de l'anàlisi estadística emprada van ser els següents:

Pas 1

Calcular la correlació de Pearson [16] entre el progrés d'un alumne al llarg d'un any i cadascun dels 10 «paràmetres de disseny», els 37 «factors» i els quatre factors continus no-ambientals, és a dir, ponderació inicial, ponderació inicial segons edat, l'edat real i els mesos d'edat. Això ens va donar una indicació inicial de quins factors, a un nivell de significació de l'1%, afecten el procés d'aprenentatge d'un alumne al llarg d'un any.

Pas 2

Per al factor sexe, vam calcular una prova-t amb 2 mostres per veure si el valor mitjà del progrés de les noies al llarg d'un any era diferent al dels nois a un nivell de significació de l'1%.

Pas 3

Calcular la correlació de Pearson entre tots els factors ambientals i els factors continus no-ambientals. Això ho vam fer per determinar si hi havia el potencial d'una multicolinealitat al model final. La multicolinealitat sol ser un problema si hi ha dos factor en un model que produeixen una correlació de Pearson de >0,8 o <-0,8.

Taula 4
Taula de conversió entre el nivell TA i el sistema de punts.

Nivell TA	Punts
P1i	0,5
P1ii	0,7
P2i	0,9
P2ii	1,1
P3i	1,3
P3ii	1,5
P4	2
P5	3
P6	4
P7	5
P8	6
1C	7
1B	9
1A	11
2C	13
2B	15
2A	17
3C	19
3B	21
3A	23
4C	25
4B	27
4A	29
5C	31
5B	33
5A	35

Taula 5
Estadístiques descriptives dels punts TA assignats als alumnes.

Factor	Mínim	Màxim	Mitjana	Desviació estàndard
Punts inicials (total)	8	95	50,12	18,30
Punts finals (total)	12	103	60,91	18,28
Punts de millora (total)	−10	34	10,78	5,62

Pas 4

Per a aquest pas, calia investigar si un model multinivell era necessari. Si no hi havia variació en l'aprenentatge dels alumnes en diferents aules i escoles, es podien analitzar aquestes dades amb un model de regressió multilineal [17]. Ho vam comprovar seguint els passos següents:

(i) Comprovàvem si hi havia variació entre les diferents classes ($p<0,05$ suposant un grau de llibertat) comparant la desviació en un model multinivell de dos nivells que tingués en compte la variació entre classes amb la desviació pel model que no té en compte la variació entre classes [18].

(ii) Si no trobàvem variació, ens calia passar al pas 5; i si en trobàvem, ens calia fer una prova per comprovar si hi havia variació entre les diferents escoles. Vam comparar la desviació pel model multinivell de tres nivells amb la desviació del model obtingut a (i).

Pas 5

Comprovàvem tots els factors no-ambientals, és a dir, tots aquells que tenien a veure amb els alumnes, i progressivament els incorporàvem al model si afectaven de manera significativa el progrés d'un alumne. Ho comprovàvem seguint els cinc passos següents:

(i) Provàvem cada factor no-ambiental individual creant un model que inclogués aquest factor, i en comparàvem la desviació amb la desviació del model actual. Incorporàvem el factor que provoqués més canvi en la desviació si el valor-P d'aquest canvi en la desviació (suposant un grau de llibertat) era menys de 0,05.

(ii) Si incorporàvem un factor no-ambiental al model al pas (i), realitzàvem una prova per veure si variava la influència d'aquest factor en el progrés d'un alumne entre classes i escoles. Si la incorporació d'aquest factor feia canviar la desviació de manera significativa, ho incorporàvem al model ($p<0,05$). Cal remarcar que suposàvem que el canvi en la desviació seguia la distribució khi quadrat amb dos graus de llibertat [18]. Si no entràvem un factor a (i), passàvem al pas 6.

(iii) Repetíem (i) i (ii) per a tots els factors no-ambientals que no estiguessin encara al model, i tot seguit passàvem a (iv).

(iv) Si no entràvem un factor no-ambiental a (iii), passàvem al pas 6. En cas contrari, comprovàvem cada factor del model actual per veure si la omissió del factor provocava una reducció significativa en la desviació ($p<0,10$).

(v) Repetíem (iii) i (iv) fins que no poguéssim entrar més factors.

Pas 6

Provàvem tots els factors ambientals (que mesuràvem a nivell de classe), i els entràvem al model si afectaven el progrés d'un alumne de manera significativa. Ho fèiem seguint els passos següents:

(i) Provàvem cada factor ambiental de manera individual creant un model que incorporés aquest factor i comparant la desviació d'aquest model amb la desviació del model actual. Entràvem el factor que provoqués més canvi en la desviació al model ($p<0,05$, suposant un grau de llibertat). Si no, no entràvem cap factor al model.

(ii) Repetíem (i) per a tots els factors ambientals que no fossin encara al model, i passàvem a (iii).

(iii) Si entràvem un factor ambiental al model a (ii), provàvem cada factor del model actual per comprovar si, en traure aquest factor, la desviació es reduïa de manera significativa ($p<0,10$). Si no, no incorporàvem més factors al model.

(iv) Repetíem (ii) i (iii) fins que no es poguessin entrar més factors.

4. Resultats

4.1. Anàlisi bivariada inicial

Dels deu factors ambientals, vuit van mostrar correlacions significatives amb el progrés dels alumnes (progrés compensat), però tres d'aquests van ser inesperadament negatius. Això ens va dur a repensar les relacions hipotètiques originals en aquestes àrees. En un primer moment partíem de la hipòtesi que els paràmetres de «complexitat» i «color» estaven dins del principi general de disseny de «nivell apropiat d'estimulació». Va resultar, però, que segons els resultats SAT, perquè es produís l'aprenentatge havíem d'invertir l'escala de manera que apropiat estigués associat a menys estimulació, i no més estimulació. Els resultats d'aquestes correlacions són visibles a la Taula 7. En el cas de la «connexió», també es va produir una situació inesperada, però va ser més complicada

Taula 6
Nombre de classes i alumnes exclosos de les dades facilitades pel Consell de Blackpool, i les raons per a l'exclusió.

Raó per a l'exclusió	Nombre d'exclosos	
	Classes	Alumnes
P5	7	207
Mesures alternatives rebudes com a nivell inicial a 1r de primària	5	147
Nivells inicials no-poblats	1	31
Els nivells inicials i finals no s'han ofert en tots 3 temes	No aplicable	283
Total	13	668

Taula 7
Correlació Pearson entre cada factor i el progrés d'un alumne.

Tipus de factor	Factor		Progrés compensat
No-ambiental	Ponderació inicial		−0,158 **
	Ponderació inicial segons l'edat		−0,081 *
	Edat real		0,019
	Mesos d'edat		−0,087 *
Ambiental	Naturalitat	Llum	0,177 **
		Soroll	−0,083 *
		Temperatura	0,043
		Qualitat de l'aire	0,120 **
	Individualització	Opció	0,133 **
		Flexibilitat	0,123 **
		Connexió	−0,157 **
	Estimulació	Complexitat	0,141 **
		Color	0,258 **
		Textura	0,103 **

*Indica factors significatius al nivell 5%; **indica factors significatius al nivell 1%.

Taula 8
Correlació Pearson entre tots els factors no-ambientals.

	Ponderació inicial	Ponderació inicial segons l'edat	Edat real	Mesos d'edat
Ponderació inicial	1,000			
Ponderació inicial segons l'edat	0,521 *	1,000		
Edat real	0,851 *	0,044	1,000	
Mesos d'edat	0,146 *	0,238 *	0,206 *	1,000

*Indica un factor significatiu al nivell 1%.

degut a un cert grau de conflicte en la correlació dels factors. Per això, en aquest cas, no vam modificar l'escala, i la correlació negativa encara és evident a la Taula 7. Dels factors no-ambientals, vam trobar que només el nivell inicial dels alumnes estava correlacionat amb el progrés de l'alumne, cosa que en aquest cas també era negativa.

Les Taules 8 i 9 exploren la qüestió de les correlacions entre les diferents variables independents. La Taula 8 mostra que tots els factors no-ambientals estan correlacionats de manera significativa. En particular, l'edat real té una correlació molt alta (per sobre del 0,8) amb el nivell inicial d'un alumne (ponderació inicial), la qual cosa suggereix que hi hauria un problema de multicolinealitat si s'incloguessin els dos termes al model final. Suposem que aquests dos factors estan altament correlacionats perquè el nivell inicial d'un alumne millora a mesura que creix.

La taula 9 mostra que hi ha moltes correlacions de baix nivell entre els factors ambientals, però no són prou significatives per crear un problema potencial de multicolinealitat. De totes maneres, com que estan correlacionats, és probable que alguns dels factors ambientals no s'incloguin en el model multinivell final, perquè ja hi apareixerà incorporat un nivell que s'hi correlaciona.

4.2 Model multinivell

En fer l'anàlisi multinivell vam trobar una variació significativa en l'aprenentatge dels alumnes entre classes, però no entre escoles. Una possible raó per a aquesta poca variació entre escoles podria ser que només haguéssim utilitzat set escoles per crear el model.

Per tant, vam desenvolupar un model multinivell de doble vessant, tal i com es mostra a la Taula 8. En ella es mostren els factors que vam considerar significativament influents en l'aprenentatge dels alumnes. A més, tots aquests factors estan estandarditzats perquè es pugui determinar l'efecte de cada factor en relació amb els altres. Sis d'aquest factors significatius eren ambientals: color, opció, connexió, complexitat, flexibilitat i llum. Vam trobar que hi havia dos factors no-ambientals que afectaven el progrés dels alumnes significativament: la ponderació inicial i la ponderació inicial relativa de l'alumne mitjà de la mateixa edat.

El model multinivell (Taula 10) mostra la discrepància interceptada, que en aquest model pren el valor 0,102. La discrepància interceptada és la variància dins el nivell de classe (nivell 2), que representa la desviació en el progrés de l'alumne mitjà en una aula en relació amb el progrés de l'alumne mitjà sobre tots els alumnes de la població. Per tant, tots els alumnes d'una aula en concret compartiran el mateix valor per a la variància. La discrepància interceptada dóna la variació no-explicada (o la variació després d'haver compensat pels factors del nivell de classe) en el progrés d'un alumne a nivell de classe, i quantifica la variació no-explicada en el progrés d'un alumne a través de totes les classes.

La Taula 10 també indica que l'error aleatori és del 0,523; aquest és el marge de la variància del nivell de l'alumne (nivell 1), en què la variància del nivell de l'alumne representa la desviació de la millora d'un alumne de la millora mitjana d'un alumne a l'aula on estudia. Per tant, tots els alumnes tindran un valor diferent per a aquesta variància. L'error aleatori és la variació no-explicada (o la variació després d'haver compensat pels factors del nivell de l'alumne) en el progrés d'un alumne al nivell d'alumne.

El valor R2 dóna una indicació del percentatge de la variació en el progrés de l'alumne que es pot explicar amb tots els factors del model, i determina fins a quin punt el model s'ajusta a les dades [19]. El valor R2 era 51%, per tant el 51% de la variació en el progrés d'un alumne es pot explicar pels factors ambientals i no-ambientals (incorporant diferències no-explicades entre classes).

4.3. Influències E-H-R a nivell de classe

La Taula 10 demostra que 6 dels 10 factors ambientals afectaven el progrés d'un alumne de manera significativa. Vam trobar que els cinc factors ambientals color, opció, complexitat, flexibilitat i llum tenien un impacte positiu en el progrés dels alumnes. En canvi, tal i com hem indicat a l'anàlisi bivariada ja esmentada, el factor ambiental connexió tenia un impacte negatiu (per això l'estimació del paràmetre a la Taula 10 és negativa). Per tant, sembla que incrementar aquest factor ambiental hauria de provocar un descens en el progrés d'un alumne. És evident que aquest factor és important pel que fa a l'aprenentatge, però en el moment present no n'acabem d'entendre el mecanisme. Aquest serà un tema d'investigació en treballs futurs.

Les estimacions de paràmetre mostrades a la Taula 10 determinen fins a quin punt cada factor influeix en el progrés dels alumnes. Com més gran sigui el valor (sigui quin sigui el signe), més efectiu és el factor. Per tant, la influència relativa dels factors ambientals es veu a la Taula 11.

La «discrepància proporcional en la reducció» (DPR) del nivell de classe (nivell 2) serveix per investigar fins a quin punt els factors ambientals provoquen variabilitat entre classes. El DPR de nivell de classe representa fins a quin punt es va reduir la discrepància

Taula 9
Correlació Pearson entre tots els factors ambientals.

	Llum	Soroll	Temperatura	Qualitat de l'aire	Opció	Flexibilitat	Connexió	Complexitat	Color	Textura
Llum	1,000									
Soroll	0,438 *	1,000								
Temperatura	0,182 *	0,043	1,000							
Qualitat de l'aire	−0,179 *	−0,487 *	−0,150 *	1,000						
Opció	0,259 *	0,098 *	−0,056	−0,138	1,000					
Flexibilitat	−0,079	0,102 *	−0,020	0,111 *	0,352 *	1,000				
Connexió	0,065	0,060	0,058	0,023	0,080	0,341 *	1,000			
Complexitat	0,239 *	−0,379 *	0,182	0,386 *	−0,130 *	−0,045	0,223 *	1,000		
Color	0,152 *	−0,188 *	−0,400	0,033	−0,068	−0,048	−0,041	0,046	1,000	
Textura	0,163 *	−0,093	−0,790	−0,088	−0,088	0,039	−0,117 *	−0,299 *	0,444 *	1,000

*Indica factors significatius al nivell 1%.

Taula 10
Les estimacions de paràmetre i els errors estàndards corresponents per al model multinivell.

Factors	Estimació de paràmetre	Error estàndard
Intercepció	0,006	0,064
Ponderació inicial	−0,202	0,078
Ponderació inicial segons edat	−0,018	0,098
Color	0,199	0,065
Opció	0,11	0,069
Connexió	−0,289	0,067
Complexitat	0,191	0,067
Flexibilitat	0,196	0,07
Llum	0,138	0,067
Discrepància interceptada	0,102	0,033
Ponderació inicial segons la discrepància d'edat	0,206	0,06
Covariància entre la intercepció i l'edat inicial compensat	−0,06	0,033
Error aleatori	0,523	0,028

interceptada amb la incorporació de factors ambientals [19]. Per tant, el valor DPR ofereix una indicació de quina part de la variabilitat entre classes es pot explicar a través de factors ambientals. La Taula 12 mostra que la discrepància interceptada per al model que només incorporava els factors no-ambientals era de 0,348; això es veu reduït fins al 0,102 amb la incorporació de factors ambientals. Per tant, la reducció de la proporció en la discrepància interceptada amb la incorporació de factors ambientals és (0,384-0,102)/0,384=73%.

4.4. Influències de «nivell d'alumne»

La Taula 11 indica que els factors no-ambientals (o de nivell d'alumne: ponderació inicial i ponderació inicial segons l'edat) influeixen de manera significativa en el progrés dels alumnes; ambdós es mesuren a nivell d'alumne. La ponderació inicial té un efecte negatiu en el progrés dels alumnes, la qual cosa vol dir que a mesura que el nivell inicial d'un alumne augmenta, se'n redueix el progrés. Per tant, com més alt sigui el nivell inicial de l'alumne, menys progrés farà.

Vam trobar que la influència de la «ponderació inicial segons l'edat» sobre el progrés dels alumnes variava en funció de la classe. La «ponderació inicial segons l'edat» és el nivell inicial d'un alumne en relació amb el nivell inicial d'un alumne mitjà de la mateixa edat. La Taula 10 mostra les diferències quantitatives en les variàncies que produeix la influència de la «ponderació inicial segons l'edat» (0,206). La variància representa la desviació dels efectes que produeix la ponderació inicial segons l'edat en el progrés d'un alumne en una aula de l'efecte mitjà que produeix ponderació inicial segons l'edat en el progrés d'un alumne per sobre de la població. Per tant, cada classe tindrà una variància diferent.

Les variàncies per l'efecte de la ponderació inicial segons l'edat eren negatives per a totes les classes de 6è. Això indica que un alumne de 6è amb un nivell inicial alt (en comparació amb l'alumne mitjà de la mateixa edat) millorava menys. El motiu d'aquesta escassa millora es podria deure al fet que, possiblement, els alumnes amb un alt nivell d'inici no podran assolir un nivell superior amb un darrer any d'escola primària perquè ja partien del nivell més alt possible. Investigarem aquest component més endavant.

Taula 11
Propoció de l'increment en la progressió de l'aprenentatge dels alumnes relativa a cada factor ambiental

Factor ambiental	Proporció (%)
Color	18
Opció	10
Connexió	26
Complexitat	17
Flexibilitat	17
Llum	12
Total	100

Taula 12
Discrepància proporcional en la reducció (DPR) amb la incorporació de factors de nivells 1 i 2 al model.

Model	Error aleatori	Discrepància interceptada
Sense factors al model	0,695	0,347
Només factors d'alumne	0,524	0,384
Factors d'alumne i ambientals	0,523	0,102
DPR		
Nivell 1	25%	
Nivell 2		73%

Discrepància proporcional en la reducció (DPR) a nivell d'alumne (nivell 1) es pot emprar per investigar la variabilitat al nivell d'alumne. La DPR, en aquest cas, indica fins a quin punt es va reduir l'error aleatori (veieu la Taula 12) amb la incorporació de factors no-ambientals al model [19]. Això ofereix una indicació de quina part de la variació del nivell d'alumne es pot explicar pels factors no-ambientals (tots mesurats al nivell d'alumne). A la Taula 12 es pot observar que l'error aleatori per al model sense factors era del 0,695, i que això es va reduir a 0,524 amb la incorporació dels factors no-ambientals. Per tant, la reducció proporcional de l'error aleatori amb la incorporació dels elements no-ambientals al model va ser de (0,695-0,524)/0,695=25%.

5. Discussió

5.1. El model

Com ja hem establert, en l'anàlisi principal vam utilitzar el modelatge multinivell, perquè pot mostrar l'estructura jerarquitzada de les dades (alumne a classe). Això ens permet establir els valors dels «efectes d'alumne» i «efectes d'aula» no-mesurades a cada nivell com a variàncies, i evitar, d'aquesta manera, resultats enganyosos a causa de l'atorgament equivocat de significat que provocaria una anàlisi de regressió simple.

En general, el model explica el 51% de la variabilitat en la millora de 751 alumnes al llarg d'un any a 34 aules en set escoles. La reducció de l'error aleatori al nivell 1 (factors d'alumne) és del 25%, la qual cosa deixa una variació no-explicada força alta. Els motius podrien ser els problemes familiars que puguin tenir alguns alumnes a casa, que no es trobin bé o que desenvolupin canvis de comportament, o possiblement que l'alumne rebi classes particulars. Seria força difícil recollir aquest tipus d'informació. A més a més, com a individus, els alumnes es desenvolupen de manera diferent, i això no es pot explicar mai del tot amb un model.

En canvi, la reducció en la variància al Nivell 2 (factors d'aula) és del 73%, completament enllaçat als sis paràmetres de disseny del model. Com que el nivell d'anàlisi és al centre del nostre estudi, el nivell alt d'explicació lligada al factor ambiental és molt important.

La variabilitat no-explicada, que és força petita, probablement es deu a que no hem incorporat mesures de l'eficàcia dels mestres al model. Com ja hem dit, és important tenir aquest element en compte, tot i que, possiblement, no farà variar gaire les dades a la pràctica. De totes maneres, l'omissió d'aquestes dades podria provocar una certa parcialitat a les estimacions perimetrals i, per tant, una certa parcialitat en el nivell d'influència de cada factor en el progrés dels alumnes. Això seria un problema major si es pogués anticipar una relació forta entre la influència del mestre i els factors en el model actual. És evident que els mestres prenen decisions sobre la distribució dels espais físics

a l'aula, però aquestes qüestions segueixen sent factors ambientals. Per a la resta d'aspectes relacionats amb l'eficàcia dels mestres, la connexió amb els factors ambientals, i per tant la parcialitat, és probablement molt petita, i creiem que el model actual ofereix una bona indicació inicial de l'eficàcia dels factors actuals.

Vam identificar sis dels deu «paràmetres de disseny» com a particularment influents en el model multilineal i multinivell de regressió. Conjuntament, s'ha demostrat que aquests paràmetres influeixen en el progrés dels alumnes de manera significativa, i expliquen gran part de la variabilitat en el rendiment dels alumnes a nivell de classe. Aquests sis paràmetres són color, opció, connexió, complexitat, flexibilitat i llum.

Tots els altres factors ambientals resultaven significatius individualment, però no s'han inclòs al model perquè, amb aquest conjunt de dades, sovint estan correlacionades amb d'altres paràmetres de disseny (veieu la Taula 9), tot i que a un nivell baix. Conseqüentment, aquests factors van ser superats per d'altres en l'anàlisi de la regressió. A un nivell pràctic, podria ser que alguns factors siguin menys evidents perquè varien poc entre classes en aquesta mostra. Aquest sembla ser el cas de la qualitat de l'aire, que, basat en proves fetes a les aules, donava uns resultats gairebé universalment negatius. Així doncs, queden corroborades les observacions longitudinals detallades de Clements-Croome et al. [20]. Ara bé, quan un factor és tan important que no es permet que empitjori massa sorgeix un problema. Huang et al. [2] ho anomenen «el poder d'un vot per vetar» (p. 307-308). És a dir que, si un d'aquests factors es troba a un nivell inacceptable, la qualitat ambiental general es considerarà pobra, per molt bons que siguin els altres factors. En un estudi d'oficines, Huang et al. van trobar que això és aplicable a nivells alts de soroll i qualsevol dels dos extrems de temperatura. Podria ser, per tant, que els factors «naturals» de qualitat d'aire, temperatura i so siguin importants, però no van sortir al capdamunt de l'anàlisi perquè eren tant generals com imperceptiblement pobres, ja que els usuaris no tenen més opció que posar-hi remei de seguida que empitjoren.

Tot i així, s'ha demostrat que els sis factors identificats influeixen a la pràctica de manera significativa en el progrés dels alumnes. Podria ser que amb més dades i més anàlisis en un futur, sorgissin uns altres factors com a més importants, però això no canviaria la força de les correlacions generals que hem trobat, ni la importància dels factors que aquí hem identificat. És interessant veure (Taula 9) que hi ha una distribució més o menys igual d'influència en tots sis factors. Això coincideix amb la observació per part d'Huang et al. [2] que «els paràmetres ambientals físics estan tots interrelacionats, i la sensació de comoditat és un estat compòsit que inclou les sensacions de l'ocupant de tots aquests factors» (p. 306). O, tal i com diu Cabanac [21], «els subjectes tendien a maximitzar la suma algebraica dels seus plaers sensorials» (p. 8).

L'anàlisi estadística que hem detallat ha establert un model multinivell robust dels factors que es correlacionen amb millores en el progrés dels alumnes. La següent secció pren aquest model i el porta encara més enllà amb una anàlisi addicional per predir l'escala d'influències implícita en el model tal i com està.

5.2. Influència implícita dels factors E-H-R del model en l'educació

Vam utilitzar el valor R2 per quantificar la variància en el progrés dels alumnes, explicat pels factors ambientals i no-ambientals (incorporant les diferències no-explicades entre classes), que és del 51%. Ara bé, el valor R2 no serveix per quantificar la variabilitat en el progrés dels alumnes si s'expliqués únicament pels factors no-ambientals o ambientals, ja que cada subanàlisi seria parcial per l'omissió d'altres factors.

De totes maneres, hem vist que el model funciona bé amb les dades, sobretot a nivell d'aula, on es troba el nostre principal interès d'investigació. Per tant, l'anàlisi que detallem a continuació quantifica l'impacte dels factors ambientals utilitzant el model per fer previsions. Ressalta les diferències en el progrés dels alumnes entre els casos millors i pitjors per culpa dels factors ambientals.

Si fixéssim totes les variables, excepte les ambientals, als seus valors mitjans, el model podria predir el progrés compensat (la millora dels alumnes), degut únicament a factors ambientals. Això seria el procés equivalent a agafar un alumne mitjà i un mestre mitjà, i col·locar-los a cadascuna de les 32 aules analitzades (veieu la Taula 13).

Per tant, a la pitjor aula, l'alumne mitjà tindria un progrés compensat estimat de -0,82, que equival a una millora de 6,15 punts en les tres matèries (veieu la Taula 4). Si poséssim aquest alumne mitjà a la millor aula, donaria una millora compensada d'1,1, que equival a una millora de 16,98 punts en les tres matèries. Si prenem la diferència entre aquests valors, tan sols amb els factors ambientals podem observar una millora de fins a 11 punts (16,98-6,15) sumant totes les matèries. Això suggereix que posar el mateix alumne a la millor aula en lloc de la pitjor tindria un efecte en el seu aprenentatge equivalent al progrés típic d'un alumne al llarg de tot un curs (11 punts – veieu la Taula 5).

Al conjunt de dades que aquí considerem, els alumnes millors i pitjors van millorar en 34 i -10 punts, respectivament, sumant les tres matèries al llarg d'un any (veieu la Taula 5). Això ens permet escalar l'impacte dels factors ambientals en el progrés dels alumnes al 25% ((11/44) x 100) en el ventall de valors de la millora (al conjunt de dades actual).

Taula 13
Progrés compensat estimat i punts de millora corresponents per classes. Els punts de millora són la suma de la millora en punts al llarg de l'any per a les tres matèries.

Escola	Classe	Progrés compensat	Punts de millora
8	3	−0,82	6,15
8	5	−0,73	6,69
3	5	−0,57	7,56
6	4	−0,40	8,51
7	3	−0,40	8,56
6	3	−0,35	8,84
8	4	−0,34	8,88
3	4	−0,26	9,34
3	3	−0,24	9,42
4	4	−0,17	9,84
4	5	−0,15	9,96
4	3	−0,12	10,13
4	2	−0,08	10,35
6	5	−0,07	10,37
9	4	−0,06	10,43
5	1	−0,03	10,61
5	3	−0,02	10,70
7	4	−0,01	10,71
9	3	0,03	10,94
7	6	0,04	11,02
3	2	0,05	11,05
8	6	0,07	11,18
5	6	0,08	11,23
7	5	0,22	12,05
5	4	0,23	12,09
6	2	0,31	12,52
6	6	0,33	12,66
9	2	0,38	12,94
6	1	0,48	13,46
7	2	0,61	14,21
5	5	0,66	14,49
5	2	0,86	15,60
4	6	0,88	15,72
9	5	1,10	16,98

Taula 14
Les característiques més distintives de les aules que estan relacionades amb la millora del rendiment dels alumnes segons el model.

Principi de disseny	Paràmetre de disseny	Elements positius de l'aula	
Naturalitat	Llum	♦	L'aula rep llum natural de més d'una direcció.
			I/o la llum natural penetra des del sud.
		♦	L'aula té una qualitat i una quantitat alta de llums elèctrics.
		■	L'espai vora la finestra està net, sense obstruccions.
Individualització	Opció	♦	L'aula té mobiliari i recursos d'alta qualitat, dissenyats per a l'educació.
		♦	Taules i cadires interessants (en color i en forma) i ergonòmiques.
	Flexibilitat	♦ ■	Zones variades permeten fer diverses activitats d'aprenentatge a l'hora.
		♦ ■	El mestre pot canviar la configuració de l'espai fàcilment.
	Connexió	♦	Uns passadissos amples faciliten el moviment.
		■ □	Els passadissos tenen eines orientatives clares.
Estimulació, nivell aproximat de	Complexitat	♦	Un edifici gran ofereix oportunitats diverses per a diferents activitats d'aprenentatge.
		■	Pel que fa a les presentacions visuals i la decoració, a l'aula cal que hi hagi un entorn visual poc sorollós, combinat i amb un cert nivell de complexitat.
	Color	■	Els colors càlids van bé a les aules de les classes superiors, i els colors frescos i lluminosos van bé per a classes inferiors.
		■ ♦	El color de les parets, les estores, els mobles i les presentacions visuals contribueixen tots a l'esquema de colors de l'aula. De totes maneres, és el color de l'aula (parets i terra) que juga el paper més important.

♦: elements relacionats amb el disseny; ■: elements relacionats amb l'ús; i □: cal un estudi del mobiliari per a aprofitar-ne les característiques positives.

Conclusió

6.1. En general

Amb les dades de 751 alumnes de 34 classes a set escoles vam avaluar una sèrie d'hipòtesis i vam poder identificar impactes clars en el progrés en l'aprenentatge provocats per un ventall de paràmetres de disseny ambientals, identificats a través de l'anàlisi estadística multinivell. Fins aquí, hem esmentat aquests paràmetres en l'ordre en què els vam analitzar. Ara, estan resumits a la Taula 14 seguint l'estructura de la taula 1, per tal que se'n pugui veure la relació amb els principis de disseny generals.

Cal recordar que vam avaluar els espais en termes de funcionalitat, centrant-nos totalment en l'impacte de les diferències entre espais en el rendiment dels alumnes. En aquest context, s'observa que predominen els paràmetres que tenen a veure amb el principi de la individualització. Aquí, la qüestió de la connexió ha donat uns resultats que són sorprenents si els comparem amb les teories predominants, però cobren sentit si es miren des de la perspectiva d'un alumne. Aconseguir el «nivell apropiat d'estimulació» per a l'aprenentatge també és important, i fa sorgir la qüestió dels requeriments funcionals en oposició a les preferències estètiques. En altres paraules, als alumnes petits els poden agradar els espais emocionants, però semblaria que per aprendre necessiten espais relativament ordenats, amb un grau raonable d'interès. Pel que fa a la «naturalitat», tan sols el paràmetre de la llum va mantenir la seva rellevància, i aquí entrava en joc una relació complexa entre un desig de llum, el rebuig de la brillantor, i la importància d'una il·luminació artificial de qualitat. Els altres paràmetres de la naturalitat no van tenir una importància tan remarcada; ja n'hem esmentat els possibles motius.

A la Taula 14, els elements d'una bona aula es classifiquen com a relacionats amb el disseny o amb l'ús (o ambdues coses). Hi ha una barreja força igualada d'aquests elements, la qual cosa indica que aquestes dades poden ser útils tant per als dissenyadors com per als usuaris a l'hora de dissenyar i ordenar les aules.

6.2 Limitacions i recerques futures

Fins al moment, per a aquest estudi hem tingut en compte un nombre limitat d'alumnes en una zona concreta, i ens hem centrat únicament en el seu rendiment acadèmic. És evident que cal fer més feina. Aquest estudi ens ha ofert dades importants sobre la influència combinada d'elements de l'entorn construït en el ritme d'aprenentatge dels alumnes. A l'hora, també ha plantejat reptes importants a l'equip de recerca, i hem aprés moltes coses que podrem incorporar en estudis futurs. En detallem algunes a continuació:

(a) Ampliarem la nostra recerca per incorporar escoles addicionals en àrees geogràfiques diferents per provar, validar i il·lustrar els nostres resultats fins ara. Això inclourà una replicació de la nostra metodologia existent, millorada a partir de l'experiència adquirida, i incorporarà dimensions addicionals, com ara observacions específiques a l'aula. D'aquesta manera,
  - (i) Revisarem la possibilitat de treballar amb els efectes a nivell d'escola.
  - (ii) Ens esforçarem doblement per aconseguir dades sobre el rendiment dels alumnes, per tal de poder aïllar aquest aspecte d'una manera més clara a l'anàlisi.
  - (iii) Investigarem més a fons la qüestió de la «connexió».
  - (iv) Retindrem els quatre aspectes que van perdre rellevància per la major influència dels altres factors (soroll, temperatura, qualitat de l'aire i textura), i els estudiarem en el context d'una mostra més gran i variada.

(b) En el futur, considerarem la possibilitat d'ampliar l'estudi per incloure edificis amb diferents usos, així com fer comparacions entre cultures.

6.3. Una direcció significativa

Donat la mida d'aquest repte –com ja hem detallat a l'apartat 1– suposa un pas significatiu que haguem desenvolupat amb èxit un model multinivell, guiat per hipòtesis, que explica el 51% de la variació en l'aprenentatge dels alumnes. I encara més si pensem que aquest estudi mostra que els sis paràmetres E-H-R identificats representen una reducció del 73% en la variància no-explicada al nivell de classe. També hem escalat l'impacte d'aquests factors ambientals per ells mateixos, i semblen justificar al voltant del 25% del progrés dels alumnes.

Comptem que aquest equip i d'altres podran aprofitar la feina que hem fet fins ara, tant en la millora de les escoles com dels edificis amb altres usos.

Agraïments

Aquest projecte ha rebut suport de moltes bandes. Gran part de la nostra feina en general, i la primera part d'aquesta activitat en particular, va començar amb el Salford Centre for Research and

Innovation in the Built Environment (SCRI), que va rebre finançament d'EPSRC com a IMRC (referència de subvenció EP/E001882/1). Abans de començar l'activitat d'aquest treball pròpiament dit, la col·laboració amb el Consell Municipal de Manchester ens va ajudar a preparar-ne les idees subjacents.

Després d'aquest treball inicial, Nightingale Associates va subvencionar feines més concretes, i va facilitar l'enllaç amb el Consell de Blackpool. Nightingale ha sigut d'una gran ajuda també més enllà d'això, ja que va prestar un cop d'orella a les primeres idees que vam proposar, i va oferir una visió pràctica sobre els resultats que anaven sorgint. El suport de Blackpool va ser vital pel que fa als consells sobre mesures educatives, i també en realitzar activitats molt pràctiques per treballar conjuntament amb les escoles a l'hora d'avaluar les dades sobre els alumnes.

EPSRC ha finançat el projecte HEAD (referència de subvenció EP/J015709/1), i aquest és el mitjà pel qual aquest projecte ha arribat fins a aquí, i amb el qual seguirà endavant encara durant 18 mesos per explorar les preguntes que han sorgit d'aquest treball inicial. Sense tot aquest suport, el nostre projecte no hagués sigut possible. Des de l'equip del projecte voldríem aprofitar aquesta oportunitat per oferir tot el nostre agraïment.

Bibliografia

[1] Bluyssen Philomena M, Janssen Sabine, van den Brink Linde H, de Kluizenaar Yvonne. Assessment of wellbeing in an indoor office environment. Build Environ 2011;46:2632-40.
[2] Huang L, Zhu Y, Ouyang Q, Cao B. A study on the effects of thermal, luminous and acoustic environments on indoor environmental comfort in offices. Build Environ 2012;49:304-9.
[3] Cao B, Ouyang Q, Zhu Y, Huang L, Hu H, Deng G. Development of a multivariate regression model for overall satisfaction in public buildings based on field studies in Beijing and Shanghai. Build Environ 2012;47:394-9.
[4] Kim J, de Dear R. Nonlinear relationships between individual IEQ factors and overall workspace satisfaction. Build Environ 2012;49:33-44.
[5] Zeisel J, Silverstein NM, Hyde J, Levkoff S, Lawton MP, Holmes W. Environmental correlates to behavioral health outcomes in Alzheimer's special care units. Gerontologist 2003;43(5):697-711.
[6] Ulrich R. View through a window may influence recovery from surgery. Science 1984;224:420-1.
[7] Heschong Mahone Group. Daylighting in schools. Fair Oaks CA: Pacific Gas and Electric Company; 1999.
[8] Tanner C. The in fluence of school design on academic achievement. J Educ Admin 2000;38(4):309-30.
[9] Barrett P, Barrett L. The potential of positive places: senses, brain and spaces. Intell Build Int 2010;2:218-28.
[10] Barrett P, Zhang Y. Optimal learning spaces design implications for primary school. SCRI, Salford University; 2009. p. 45.
[11] Zhang Y, Barrett P. Findings from a post-occupancy evaluation in the UK primary schools sector. Facilities 2010;28(13/14):641-56.
[12] Barrett P, Zhang Y, Barrett L. A child's eye view of primary school built environments. Intell Build Int 2011;3(2):107-23.
[13] Barrett P, Zhang Y. Teachers' views on the designs of their primary schools. Intell Build Int 2012;4(2):89-110.
[14] Goldstein H. Multilevel statistical models. 2nd ed. London: Edward Arnold; 1995.
[15] MLwiN. MLwiN software package, http://www.bristol.ac.uk/cmm/software/mlwin/ ; 2012.
[16] Daly F, Hand D, Jones M, Lunn A, McConway K. Elements of statistics. Harlow, England: Addison-Wesley; 1995. pp. 433-441.
[17] Dobson AJ, Barnett AG. An introduction to generalized linear models. 3rd ed. Boca Raton, Florida: Chapman & Hall/CRC (Taylor & Francis Group); 2008. p. 89.
[18] Rasbash J, Steele F, Browne WJ, Goldstein H. A user's guide to MLwiN, http://www.bristol.ac.uk/cmm/software/mlwin/download/manuals.html ; 2009. p. 62.
[19] Peugh J. A practical guide to multilevel modelling. J School Psychol 2010;48:85-112.
[20] Clements-Croome DJ, Awbi HB, Bako'-Biro' ZS, Kochhar N, Williams M. Ventilation rates in schools. Build Environ 2008;43:362-7.
[21] Cabanac M. Pleasure and joy and their role in human Life. In: Clements-Croome D, editor. Creating the productive workplace. 2nd ed. Abingdon: Taylor and Francis; 2005. p. 1-11.