
Projecte Breathe: quin impacte té la qualitat de l'aire de les escoles en el desenvolupament cognitiu?¹

The Breathe Project: How does the air quality at schools affect cognitive development?

Mònica López-Vicente

Institut de Salut Global de Barcelona, Campus Mar,
Parc de Recerca Biomèdica de Barcelona.
A/e: monica.lopez@isglobal.org

Data de recepció de l'article: 25 abril de 2018

Data d'acceptació de l'article: 22 de juny de 2018

DOI: 10.2436/20.3007.01.113

Resum

La infantesa és una etapa de vulnerabilitat per al desenvolupament del cervell. Els factors externs durant aquest període tenen un impacte molt important per a tota la vida. Els alts nivells de contaminació provinent del trànsit a les grans ciutats com Barcelona representen un problema de salut pública que afecta principalment els col·lectius més vulnerables, com els infants. El projecte Breathe va sorgir amb l'objectiu d'estudiar els efectes de la contaminació de l'aire a les escoles de Barcelona en el desenvolupament cognitiu dels nens i nenes. Van participar en l'estudi 2.897 estudiants de segon, tercer i quart de primària (set-deu anys). Durant l'any 2012 es va mesurar la contaminació dues vegades a les escoles i es van avaluar la memòria de treball i l'atenció dels nens i nenes en quatre ocasions. Això ens va fer detectar que la contaminació a les escoles tenia un efecte negatiu crònic i agut en el desenvolupament cognitiu, en la maduració del cervell i en la salut mental dels infants. En canvi, el contacte amb espais verds afavoria el desenvolupament cerebral.

¹ Aquesta recerca ha rebut finançament de la Unió Europea (ERC-Advanced Grant: 268479, The Breathe project).

Paraules clau

Contaminació atmosfèrica, espais verds, escola, desenvolupament cognitiu, cervell, infància.

Abstract

Childhood is a vulnerable period for brain development. External factors during this period have a large impact throughout life. High levels of traffic-related air pollution in big cities like Barcelona are a public health concern that mainly affects the most vulnerable individuals, such as children. The Breathe project was aimed to study the effects of air pollution in Barcelona's schools on children's cognitive development. A total of 2,897 schoolchildren in 2nd, 3rd and 4th grades (7-10 years old) participated in the study. During 2012, we measured the school air pollution levels on two occasions and we assessed children's working memory and attention across four visits. This allowed us to detect chronic and acute negative effects of school air pollution on children's cognitive development, brain maturity and mental health. Contact with green spaces, on the other hand, had a positive effect on brain development.

Keywords

Air pollution, green spaces, school, cognitive development, brain, childhood.

Introducció

El cervell és l'òrgan més complex del cos humà. La seva complexitat és tan elevada que fins als vint-i-cinc anys aproximadament no podem dir que està completament madur (Paus, 2005; Pujol, Vendrell, Junqué, Martí-Vilalta i Capdevila, 1993). El desenvolupament del cervell és un procés que encara no es coneix del tot. Sabem que les diferents àrees que el componen maduren en moments diferents: les àrees més primàries, com les àrees sensorials i motores, es desenvolupen molt abans que les més sofisticades, com l'escorça prefrontal, que controla les funcions cognitives superiors, conegudes com a funcions executives (Gogtay *et al.*, 2004).

L'etapa escolar és un període clau per al desenvolupament d'aquestes funcions, és quan s'estableixen els fonaments de les funcions executives, com el control inhibitori, la memòria de treball i la flexibilitat mental. Totes elles tenen un paper molt important en diferents aspectes de l'aprenentatge durant la infantesa i tenen un fort impacte en el rendiment acadèmic a l'escola (Anderson, 2002).

El cervell en desenvolupament és particularment vulnerable a factors externs. És a dir, una determinada exposició, sigui beneficiosa o perjudicial per a la salut, tindrà un

impacte molt més fort durant la infantesa que durant l'edat adulta. Quan el cervell s'està formant, és especialment receptiu als estímuls externs per tal d'adaptar-se al medi i, segons les circumstàncies en què es troba, es forma d'una manera o d'una altra. Aquest fenomen es coneix com a *plasticitat*. L'ambient en què es desenvolupa el cervell determina el seu funcionament per a tota la vida (Barker, 2007).

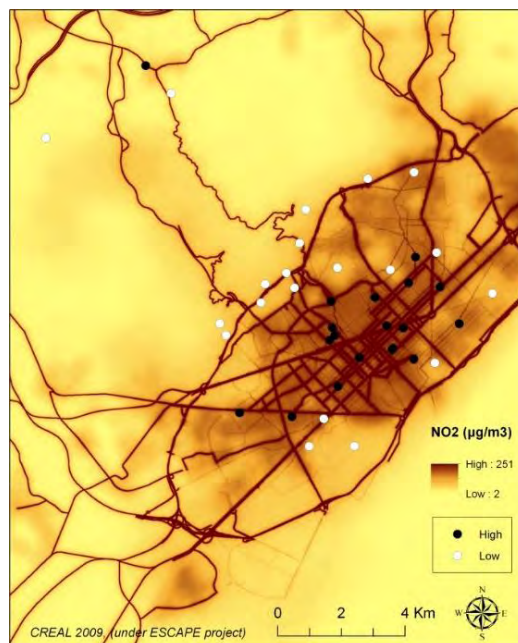
L'exposició a aire contaminat durant la infantesa pot alterar el desenvolupament del cervell. A les grans ciutats com Barcelona, la contaminació de l'aire prové sobretot del trànsit. Les partícules més petites que es desprenen dels vehicles penetren el cos i afecten diferents òrgans, entre ells el cervell. S'ha observat en animals que l'exposició a nivells alts de contaminació provoca inflamació cerebral (Calderón-Garcidueñas *et al.*, 2009; Campbell, Araujo, Li, Sioutas i Kleinman, 2009). Els nivells de contaminació de l'aire a la ciutat de Barcelona, així com a altres grans ciutats, són molt preocupants, ja que sobrepassen els nivells recomanats per l'Organització Mundial de la Salut (OMS) (ConSORCI Sanitari de Barcelona i Agència de Salut Pública de Barcelona, 2016). Per tant, la contaminació de l'aire és un problema de salut pública a les grans ciutats que afecta la salut de tota la població, especialment les persones més vulnerables, com infants, persones de la tercera edat, dones embarassades i persones amb altres problemes de salut.

La metodologia de l'estudi

El projecte Breathe és un estudi longitudinal que es va dur a terme entre el gener del 2012 i el març del 2013 a 36 escoles de Barcelona i a 3 de Sant Cugat del Vallès (Vallès Occidental) (figura 1) per estudiar l'associació entre la contaminació de l'aire a les escoles i el desenvolupament cognitiu dels nens i nenes (taula 1). En total, van participar en l'estudi 2.897 estudiants de segon, tercer i quart de primària.

FIGURA 1

Localització geogràfica dels centres de la població estudiada en el projecte Breathe segons els nivells de contaminació



FONT: Sunyer *et al.*, 2015.

TAULA 1

Indicadors de contaminació recomanats i dades comparades en dos barris de Barcelona

Contaminant	Mitjana anual recomanada per l'OMS	Mitjana anual recomanada per la Unió Europea	Eixample (trànsit)	Vall d'Hebron (fons urbà)
NO ₂ (µg/m ³)	40	40	52	29
PM ₁₀ (µg/m ³)	20	40	26	19
PM _{2,5} (µg/m ³)	10	25	16	11

NOTA: NO₂, diòxid de nitrogen; PM₁₀, partícules fines en suspensió <10 microns; PM_{2,5}, partícules fines en suspensió <2,5 microns.

FONT: Agència de Salut Pública de Barcelona (2016).

Mesures de contaminació a les escoles

La contaminació a les escoles es va mesurar dues vegades durant períodes d'una setmana. Es van fer mesuraments dins de les aules i al pati simultàniament (figura 2).

Alguns dels contaminants mesurats a les escoles van ser: partícules ultrafines, diòxid de nitrogen i $PM_{2,5}$.

FIGURA 2

La localització dels mesuradors de contaminació als centres



Avaluació neuropsicològica

Durant el període d'estudi, es van avaluar les funcions cognitives dels participants quatre vegades per mesurar-ne el desenvolupament. Vam fer servir dos tests computeritzats molt comuns en recerca: l'N-back, que mesura memòria de treball, i l'Attention Network Test (ANT), que mesura diferents processos d'atenció. Vam triar aquestes dues funcions cognitives perquè es desenvolupen durant la preadolescència i tenen un paper molt important en l'aprenentatge i l'èxit acadèmic.

Altres variables

Els pares dels participants van omplir un qüestionari amb informació rellevant, com per exemple: dades sociodemogràfiques, origen, exposició a fum de tabac a casa, dades perinatals, hàbits d'estil de vida, etc. Els pares van contestar també un qüestionari sobre la salut mental del seus fills i els mestres van omplir un altre qüestionari sobre els símptomes de trastorn per dèficit d'atenció i hiperactivitat (TDAH) dels participants. A les escoles, es va mesurar el pes i l'alçada dels nens i nenes es van recollir mostres de saliva per analitzar l'ADN. També es va mesurar el soroll a les aules i al pati. A més, es van fer estimacions de l'exposició a contaminació a espais verds i al domicili.

Neuroimatge

En una submostra de 300 nens i nenes es van obtenir imatges cerebrals de ressonància magnètica, tant funcional com anatòmica (figura 3).

FIGURA 3

Il·lustració de l'ús de la ressonància magnètica



Els resultats obtinguts

La troballa principal del projecte Breathe va ser l'associació entre la contaminació de l'aire provinent del trànsit a les escoles i el desenvolupament cognitiu (Sunyer *et al.*, 2015). Es va observar que els nens i nenes que anaven a escoles amb un aire més contaminat tenien un desenvolupament de l'atenció i la memòria de treball més lent que els que anaven a escoles amb un aire més net. Mentre que la millora anual en el rendiment cognitiu va ser d'un 7 % en el primer grup, en el segon grup va ser de l'11 %. Aquesta associació es mantenia tres anys i mig després (Forns *et al.*, 2017).

Independentment de l'efecte crònic observat, també es va identificar un efecte agut en la capacitat d'atenció i concentració dels participants. És a dir, els dies que hi havia més contaminació a la ciutat, els nens i nenes mostraven més fluctuacions d'atenció durant la tasca, tenien més dificultats per mantenir l'atenció que quan hi havia nivells baixos de contaminació (Sunyer *et al.*, 2017).

A més, també vam observar que els nens i nenes que anaven a escoles amb més contaminació i més soroll de trànsit mostraven més problemes emocionals i conductuals, i els símptomes de TDAH eren més freqüents (Forns *et al.*, 2016).

La contaminació a la qual els nens i nenes de Barcelona estan exposats diàriament durant el trajecte a l'escola també es va explorar en el projecte Breathe. Vam comprovar que el desenvolupament de la memòria de treball també es veia alterat per la contaminació que reben els nens i nenes mentre van a peu a l'escola (Alvarez-Pedrerol *et al.*, 2017). Aquest estudi justifica la implementació de camins escolars per a vianants en carrers poc contaminats per tal d'incrementar la seguretat, minimitzar l'exposició dels infants a contaminants de trànsit i promoure l'activitat física.

En el projecte Breathe vam fer un subestudi de neuroimatge (ressonància magnètica), que ens va permetre observar la base neurobiològica dels efectes de la contaminació en el desenvolupament cognitiu dels infants. És a dir, el retard en el desenvolupament cognitiu que vam trobar associat a alts nivells de contaminació s'explicava per alteracions en la maduració del cervell. En concret, vam observar que els nens i nenes exposats a nivells més alts de contaminació a les escoles mostraven un patró de funcionament cerebral més immadur (és a dir, una activació neuronal més difusa) que els que anaven a escoles menys contaminades, que mostraven un patró de funcionament més eficient (Pujol, Martínez-Vilavella *et al.*, 2016). Aquesta troballa enforteix l'estudi anterior, ja que es tracta de dos mètodes independents per mesurar el neurodesenvolupament que mostren resultats concordants: el primer indica el rendiment cognitiu, proper al rendiment acadèmic, mentre que el segon mètode mesura el funcionament cerebral des del punt de vista biològic, no tan directament relacionat amb el rendiment a l'escola.

A part d'aquest estudi de neuroimatge, es van realitzar dos estudis més en aquesta submostra del projecte Breathe en què es relacionaven compostos volàtils específics provinents del trànsit i unes estructures específiques del cervell que són especialment sensibles a l'estrès oxidatiu, els nuclis caudats. Aquestes regions formen part dels ganglis basals, que són un grup de nuclis de substància grisa que es troben a la base del cervell, i estan relacionades amb el control motor.

En el nostre estudi, nivells alts de CO₂ estaven associats amb un rendiment més lent durant una tasca motora, uns nuclis caudats immadurs i una reducció de la connectivitat amb els opercles dels lòbuls frontals (Pujol, Fenoll *et al.*, 2016). En un

altre estudi vam observar que no totes les persones tenien els mateixos efectes, els infants portadors d'una variant genètica concreta relacionada amb el metabolisme del coure eren especialment vulnerables a l'efecte d'aquesta exposició en el rendiment cognitiu (Alemany *et al.*, 2016).

Unes altres substàncies que es troben a l'aire de les gran ciutats com Barcelona són els hidrocarburs policíclics aromàtics. Vam observar que els nens i nenes que tenien nivells més elevats d'exposició a aquests elements, en concret al benzopirè, tenien els nuclis caudats més petits. Aquests canvis estructurals no estaven relacionats amb símptomes de TDAH en el nostre estudi; per tant, es tracta de canvis subclínic però significatius (Mortamais *et al.*, 2017).

En el projecte Breathe també es va estudiar l'efecte dels espais verds —la vegetació, com els arbres i els parcs— en la salut mental, el desenvolupament cognitiu i la maduració del cervell. Els nens i nenes que passen més estones en espais verds mostren menys problemes emocionals i conductuals (Amoly *et al.*, 2014). Els infants que anaven a escoles envoltades de més vegetació tenien un desenvolupament cognitiu més ràpid que els que anaven a escoles amb menys vegetació (Dadvand *et al.*, 2015). Aquesta relació està explicada parcialment per la reducció de la contaminació; per tant, els espais verds tenen un efecte beneficiós en el neurodesenvolupament, en part, perquè netegen l'aire. Paral·lelament als resultats de neuroimatge obtinguts en relació amb la contaminació de l'aire, es va trobar també la base biològica que podria explicar l'efecte beneficiós de viure envoltat de vegetació sobre el desenvolupament cognitiu. Vam observar que els nens i nenes que estaven exposats a més vegetació al llarg de tota la seva vida tenien un major volum de substància grisa i blanca a les escorces prefrontals i premotores. El volum d'aquestes regions també estava associat positivament al rendiment cognitiu, cosa que suggereix que aquestes diferències estructurals indiquen un grau de maduració superior (Dadvand *et al.*, 2018).

Conclusions

El projecte Breathe té un gran impacte per a la societat. En primer lloc, els mitjans de comunicació han mostrat un gran interès en els nostres resultats, cosa que ha

afavorit la conscienciació dels ciutadans, que és la base per millorar aquest problema. En segon lloc, regularment es duen a terme xerrades divulgatives dirigides al públic general, sobretot a nens i adolescents, per tal d'influir en la conducta de la població mitjançant l'explicació dels resultats del projecte. L'objectiu és que adquireixin responsabilitat sobre els seus hàbits i que actuïn de manera respectuosa amb el medi ambient i la salut de les persones. En tercer lloc, s'ha proposat a l'Ajuntament de Barcelona una sèrie de mesures per millorar la qualitat de l'aire a les escoles. Algunes de les mesures són: distanciar el trànsit de les escoles, canviar de lloc parades d'autobús, fer que els autocars apaguin els motors quan estan parats, desplaçar la recollida dels nens i nenes a 150 metres, ventilar cada dia les aules que donen a vies amb més densitat de trànsit, fomentar el transport actiu mitjançant la implementació de camins escolars per a vianants, experimentar amb murs verds —o vegetació vertical— que poden neutralitzar una part de la contaminació.

Agraïments

El projecte Breathe ha estat possible gràcies a la feina de moltes persones: Jordi Sunyer, Mar Álvarez-Pedrerol, Joan Forn, Mònica López-Vicente, Elisabet Suades, Judit González, Cecilia Persavento, Pere Figueras, Laura Bouso, Mikel Esnaola, Raquel García, Xavier Querol, Ioar Rivas, Núria Sebastián-Gallés, Miguel Burgaleta, Xavier Mayoral, Maria Foraster, Mariona Bustamante, Xavier Basagaña, Natàlia Vilor, Sílvia Alemany, Payam Dadvand, Andrés Alastuey, Mar Viana, Teresa Moreno, Marco Pandolfi, Fulvio Amato, Cristina Reche, Maria Cruz Minguillón, Jesús Pujol, Gerard Martínez, Laura Blanco i Marta Amor.

També volem donar les gràcies a tots els nens i nenes que han participat en aquest projecte, a les seves famílies i als seus professors, i especialment a les escoles: Escola Antoni Brusi, Escola Baloo, Escola BetàniaPatmos, Centre d'Estudis Montseny, Col·legi Shalom, Escola Costa i Llobera, Escola El Sagrer, Escola Els Llorers, Escola Pia de Sarrià, Escola Pia Balmes, Escola Ramon Llull, Escola Nostra Senyora de Lurdes, Escola Tècnica Professional Jesuïtes el Clot, Escola Jaume Ferran i Clua, Escola Francesc Macià, Escola Frederic Mistral, Escola Infant Jesús, Escola Joan Maragall, Escola Jovellanos, Escola La Llacuna del Poblenou, Escola Lloret, Escola Menéndez Pidal,

Nuestra Señora del Rosario, Escola Miralletes, Escola Ramon Llull, Escola Rius i Taulet, Escola Pau Vila, Escola Pere Vila, Escola Pi d'en Xandri, Escola Projecte, Escola Prosperitat, Escola Sant Ramon Sagrat Cor, Escola Santa Anna, Escola Sant Gregori, Sagrat Cor Diputació, Tres Pins, Escola Tomàs Moro, Escola Torrent d'en Melis i Escola Virolai.

Bibliografia

- Alemanya, S., Vilor-Tejedor, N., Bustamante, M., et al. (2016). Interaction between airborne copper exposure and ATP7B polymorphisms on inattentiveness in scholar children. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 220(1), 51-56. Recuperat de <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2016.10.010>
- Alvarez-Pedrerol, M., Rivas, I., López-Vicente, M., et al (2017). Impact of commuting exposure to traffic-related air pollution on cognitive development in children walking to school. *Environmental Pollution*, 231(1), 837-844. Recuperat de <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.08.075>
- Amoly, E., Dadvand, P., Forn, J., et al. (2014). Green and blue spaces and behavioral development in Barcelona schoolchildren: The Breathe project. *Environmental Health Perspectives*, 122(12), 1351-1358. Recuperat de <https://doi.org/10.1289/ehp.1408215>
- Anderson, P. (2002). Assessment and development of executive function (EF) during childhood. *Child Neuropsychology: A Journal on Normal and Abnormal Development in Childhood and Adolescence*, 8(2), 71-82. Recuperat de <https://doi.org/10.1076/chin.8.2.71.8724>
- Barker, D. J. P. (2007). The origins of the developmental origins theory. *Journal of Internal Medicine*, 261(5), 412-417. Recuperat de <https://doi.org/10.1111/j.1365-2796.2007.01809.x>
- Calderón-Garcidueñas, L., Mora-Tiscareño, A., Gómez-Garza, G., et al. (2009). Effects of a cyclooxygenase-2 preferential inhibitor in young healthy dogs exposed to air pollution: A pilot study. *Toxicologic Pathology*, 37(5), 644-660. Recuperat de <https://doi.org/10.1177/0192623309340277>

- Campbell, A., Araujo, J. A., Li, H., Sioutas, C., i Kleinman, M. (2009). Particulate matter induced enhancement of inflammatory markers in the brains of apolipoprotein E knockout mice. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 9(8), 5099-5104.
- Consorci Sanitari de Barcelona i Agència de Salut Pública de Barcelona (2016). *Avaluació de la qualitat de l'aire a la ciutat de Barcelona*. Recuperat de <https://www.aspb.cat/wp-content/uploads/2016/07/Avaluacio-de-la-qualitat-aire-a-la-ciutat-de-barcelona-2016-PRV.pdf>
- Dadvand, P., Nieuwenhuijsen, M. J., Esnaola, M., et al. (2015). Green spaces and cognitive development in primary schoolchildren. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(26), 7937-7942. Recuperat de <https://doi.org/10.1073/pnas.1503402112>
- Dadvand, P., Pujol, J., Macià, D., et al. (2018). The association between lifelong greenspace exposure and 3-dimensional brain magnetic resonance imaging in Barcelona schoolchildren. *Environmental Health Perspectives*, 126(2), 027012-1 - 027012-8. Recuperat de <https://doi.org/10.1289/EHP1876>
- Forns, J., Dadvand, P., Esnaola, M., et al. (2017). Longitudinal association between air pollution exposure at school and cognitive development in school children over a period of 3.5 years. *Environmental Research*, 159, 416-421. Recuperat de <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.031>
- Forns, J., Dadvand, P., Foraster, M., et al. (2016). Traffic-related air pollution, noise at school, and behavioral problems in Barcelona schoolchildren: A cross-sectional study. *Environmental Health Perspectives*, 124(4), 529-535. Recuperat de <https://doi.org/10.1289/ehp.1409449>
- Gogtay, N., Giedd, J. N., Lusk, L., et al. (2004). Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(21), 8174-8179. Recuperat de <https://doi.org/10.1073/pnas.0402680101>

- Mortamais, M., Pujol, J., Van Drooge, B. L., et al. (2017). Effect of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons on basal ganglia and attention-deficit hyperactivity disorder symptoms in primary school children. *Environment International*, 105, 12-19. Recuperat de <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.04.011>
- Paus, T. (2005). Mapping brain maturation and cognitive development during adolescence. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(2), 60-68. Recuperat de <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.12.008>
- Pujol, J., Fenoll, R., Macià, D., et al. (2016). Airborne copper exposure in school environments associated with poorer motor performance and altered basal ganglia. *Brain and Behavior*, 6(6), e00467. Recuperat de <https://doi.org/10.1002/brb3.467>
- Pujol, J., Martínez-Vilavella, G., Macià, D., et al. (2016). Traffic pollution exposure is associated with altered brain connectivity in school children. *NeuroImage*, 129, 175-184. Recuperat de <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.01.036>
- Pujol, J., Vendrell, P., Junqué, C., et al. (1993). When does human brain development end? Evidence of corpus callosum growth up to adulthood. *Annals of Neurology*, 34(1), 71-75. Recuperat de <https://doi.org/10.1002/ana.410340113>
- Sunyer, J., Esnaola, M., Alvarez-Pedrerol, et al. (2015). Association between traffic-related air pollution in schools and cognitive development in primary school children: a prospective cohort study. *PLoS Medicine*, 12(3), e1001792. Recuperat de <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001792>
- Sunyer, J., Suades-González, E., García-Esteban, R., et al. (2017). Traffic-related air pollution and attention in primary school children: Short-term association. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 28(2), 181-189. Recuperat de <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000603>

Per citar aquest article:

López-Vicente, M. (2018). Projecte Breathe: Quin impacte té la qualitat de l'aire de les escoles en el desenvolupament cognitiu? *Revista Catalana de la Pedagogia*, 14, 205-217.

Publicat a <http://www.publicacions.iec.cat>