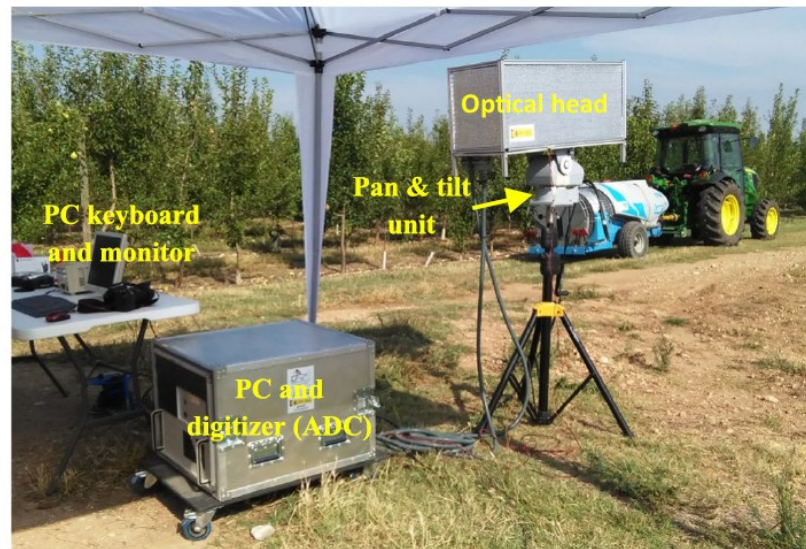


## Sistema LiDAR per la mesura de la deriva de pesticides



**Figura 1.** Sistema LiDAR durant una operació d'aplicació de pesticides.  
Font: Gregorio et al. (2019).

### Què és?

Es tracta d'un sensor òptic tipus LiDAR (*Light Detection And Ranging*) desenvolupat pel Grup de Recerca en Agròtica i Agricultura de Precisió (GRAP) de la Universitat de Lleida (Gregorio et al., 2015) per avaluar la deriva que es produeix durant les aplicacions de pesticides.

Abans de detallar les característiques d'aquest instrument és necessari explicar en què consisteix la deriva de pesticides. Segons la norma ISO 22866, la deriva es defineix com la quantitat de producte fitosanitari que és arrosstrada fora de l'àrea de tractament per l'acció de corrents d'aire durant el procés d'aplicació (polvorització). La deriva és una important font de contaminació i pot tenir efectes nocius sobre la salut de persones i animals, a més d'un impacte significatiu sobre el medi ambient. Per tant, resulta necessari disposar d'instruments que permetin monitorar-la i avaluar-ne el seu risc, amb l'objectiu final d'aplicar mesures de mitigació. Per tal de mesurar la deriva, solen utilitzar-se col·lectors passius. Tanmateix, es requereix una gran quantitat de personal i de temps per disposar i recollir





aquests col·lectors en camp, fet que limita la seva aplicació pràctica. D'altra banda, els col·lectors passius únicament proporcionen mesures integrades en el temps sobre punts específics del núvol de deriva generat, és a dir, no permeten conèixer quina és l'evolució temporal ni en distància de la deriva. A més, les mesures amb els esmentats col·lectors requereixen l'aplicació de traçadors químics.

La tecnologia LiDAR presenta avantatges significatius enfront els col·lectors in-situ donat que un únic operari pot realitzar mesures de deriva de forma remota, a temps real, amb elevada resolució temporal i en distància, i sense utilitzar traçadors químics. Malgrat aquests avantatges, els sistemes LiDAR s'han utilitzat escassament per mesurar la deriva, degut principalment a que els instruments disponibles estan dissenyats per mesurar aerosols atmosfèrics a grans alçades i com a conseqüència, sol tractar-se de sistemes costosos, complexos i, habitualment, ocularment no segurs.

El sistema LiDAR desenvolupat pel GRAP és un instrument singular dissenyat específicament per mesurar la deriva de pesticides. Es tracta d'un sistema ocularment segur, fàcilment transportable i amb capacitat d'escaneig. El seu funcionament es basa en l'emissió de polsos làser de curta durada i la detecció del senyal retrodispersat pels núvols de deriva. A partir del temps transcorregut entre l'emissió i la recepció (temps de vol), és possible determinar la distància a la que es troba el núvol. A més, la intensitat del senyal proporciona informació sobre la concentració relativa del mateix.

## Característiques generals

El sistema LiDAR ha estat dissenyat per mesurar núvols de deriva a distàncies de fins a 500 m, si bé s'ha verificat experimentalment la seva capacitat per mesurar blancs sòlids a distàncies superiors als 2 km. La resolució temporal pot ser ajustada fins a un màxim de 0.1 s. Pel que fa a la seva configuració òptica, es tracta d'un instrument biaxial, és a dir, els eixos emissor i receptor són diferents. Amb la configuració biaxial no es produeix la interferència òptica (*optical cross-talk*) pròpia de la configuració coaxial (eix únic per emissió i recepció), per bé que com a contrapartida el sensor presenta una zona inicial cega, fins una distància aproximada de 40 m (ajustable).

El sistema emissor està constituït per un làser polsat (*erbium-doped glass laser*) que emet a una longitud d'ona de 1534 nm, on cada pols té una energia 3 mJ i una duració de 6 ns. La combinació d'aquesta longitud d'ona juntament amb un expansor de feix permet que l'emissió sigui ocularment segura (classe 1M, IEC/EN 60825). En recepció es disposa d'un telescopi reflector de 80 mm d'obertura que juntament amb un conjunt d'òptiques s'encarrega de capturar la llum retrodispersada i focalitzar-la en un mòdul optoelectrònic receptor.





Aquest mòdul està constituït per un fotodíode d'avalantxa (APD) amb una responsivitat intrínseca de 0.9 A/W que s'encarrega de convertir la llum capturada en senyal elèctric. Aquest senyal és mostrejat per un convertidor analògic-digital a una freqüència màxima de 200 MS/s i posteriorment dirigit a un ordinador dedicat.

Tal com es mostra en la **Figura 1**, el sistema LiDAR presenta una configuració modular que facilita el seu transport i muntatge en camp. S'observa com el capçal òptic, a l'interior del qual s'ubiquen els sistemes emissor i receptor, està subjectat per una unitat de gir/inclinació (pan & tilt unit) que permet realitzar escanejos en azimuth i en elevació. L'equip es controla mitjançant d'una aplicació LabView desenvolupada ad-hoc que permet a l'usuari visualitzar el senyal mesurat a temps real, emmagatzemar-lo i ajustar els sistemes d'emissió, recepció i escaneig. Per una descripció completa del sistema LiDAR es poden consultar els treballs de Gregorio et al. (2015, 2016).

A la **Taula 1** es recullen les principals característiques del sistema LiDAR per mesurar la deriva.

**Taula 1.** Especificacions del sistema LiDAR per mesurar la deriva.

Emissor làser	Longitud d'ona	1534 nm ( <i>Erbium glass laser</i> )
	Energia per pols	3 mJ
	Duració del pols	6 ns
	Freqüència d'emissió	Pols únic – 10 Hz (ajustable)
Expansor de feix	Expansió	20x
	Divergència teòrica de sortida	210 µm
Telescopi	Obertura	80 mm
Fotodetector	Tipus	Fotodíode d'avalantxa (APD)
	Responsivitat intrínseca	0.9 A/W (1500 nm)
	Soroll (NEP)	0.46 pW/Hz <sup>1/2</sup>
	Guany (APD)	10
	Guany transimpedància	100000 V/A
Convertidor ADC	Freqüència de mostreig	500 MS/s
	Resolució	12 bits

## Aplicacions en AP

L'aplicació del sistema LiDAR desenvolupat en agricultura de precisió prové, principalment, de la seva capacitat per mesurar la deriva de pesticides i la qualitat de l'aire agrícola en general. La disponibilitat d'aquest sistema ha de permetre conèixer millor el fenomen de la deriva i adoptar les millors tècniques disponibles per tal de prevenir-la.

Aquest instrument s'ha utilitzat en diversos estudis dirigits, d'una banda, a avaluar el potencial de deriva associat a diferents broquets. D'altra banda, s'ha utilitzat per monitorar l'evolució temporal i en distància dels núvols de deriva emesos durant les operacions de polvorització en condicions reals de camp.

*Activitat finançada a través de l'Operació 01.02.01 de Transferència Tecnològica del Programa de desenvolupament rural de Catalunya 2014-2022*





## MESURA DEL POTENCIAL DE DERIVA

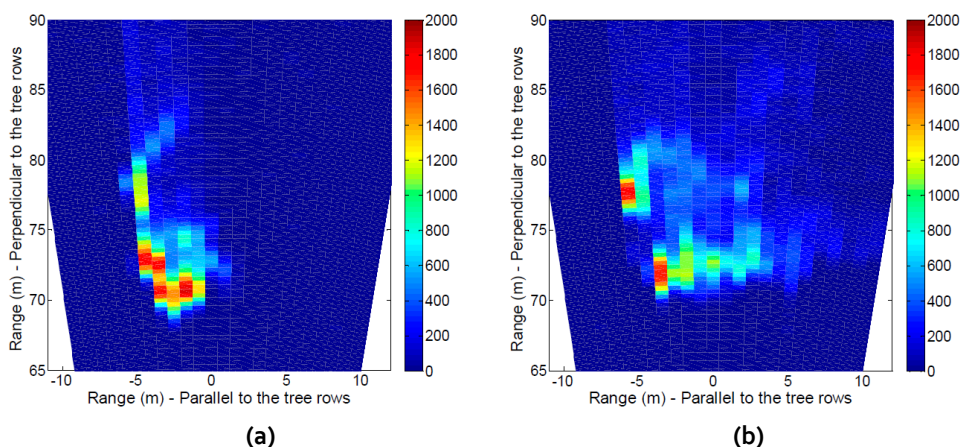
El potencial de deriva ve definit com el percentatge del volum inicial polvoritzat que és transportat a sotavent en forma de polvorització aèria (ISO 22856). El potencial de deriva es mesura habitualment en condicions de laboratori utilitzant túnels de vent o caracteritzant la distribució de grandària de les gotes emeses pel broquet. Gregorio et al. (2019) van utilitzar el sistema LiDAR desenvolupat en assajos de potencial de deriva, demostrant la capacitat d'aquest instrument per diferenciar i classificar broquets segons la seva tipologia (broquets estàndard, broquets de baixa deriva) o segons el seu calibre. A diferència de les metodologies utilitzades fins l'actualitat, el sistema LiDAR desenvolupat és capaç de mesurar el període de temps que les gotes estan suspeses a l'aire. Aquest és un paràmetre important donat que a major període de suspensió, major possibilitat de deriva.

## MESURA DE LA DERIVA EN CAMP

El principal avantatge de realitzar assajos de potencial de deriva en condicions controlades és la seva repetibilitat. Tanmateix, continua essent necessari dur a terme assajos de deriva en camp que permetin reproduir de forma realista les condicions d'aplicació. El sistema LiDAR desenvolupat s'ha utilitzat en camp per mesurar la deriva generada per polvoritzadors hidropneumàtics en plantacions fructícoles (Gregorio et al. 2016). Les mesures LiDAR van comparar-se amb les obtingudes mitjançant col·lectors passius obtenint una elevada correspondència ( $R^2 > 0.85$ ).

També es va demostrar la capacitat del sistema LiDAR per monitorar l'evolució temporal i espacial del núvol de deriva un cop realitzada l'aplicació. A més, la capacitat d'escaneig (azimut, elevació) d'aquest instrument, permet generar imatges 2D dels núvols de deriva on es mostra la concentració relativa en diferents zones dels mateixos (Figura 2). Aquests resultats demostren que el sistema LiDAR desenvolupat és una alternativa avantatjosa als col·lectors passius habitualment utilitzats i obre la porta al desenvolupament de noves metodologies de mesura de la deriva en camp, alternatives o complementàries a l'actual norma ISO 22866 basada en col·lectors in-situ.





**Figura 2.** Escanejos horitzontals d'un núvol de deriva. L'escala de colors indica la concentració relativa del núvol de deriva. a) Escaneig durant l'aplicació. b) Escaneig 15 s després de finalitzar l'aplicació on s'observa la dispersió del núvol de deriva. Font: Gregorio et al. (2016).

## ALTRES APLICACIONS POTENCIALS

L'instrument desenvolupat presenta unes característiques adequades per mesurar altres tipus d'aerosols atmosfèrics generats en entorns agroforestals. Entre les potencials aplicacions a explorar, s'inclou la mesura de partícules suspeses (PM) generades en explotacions ramaderes, el monitoratge de regs per aspersió i aplicacions de fertilitzants, així com la seva utilització com a eina de prevenció d'incendis forestals (detecció de fums).

## Limitacions

La presència de pols suspès en l'aire suposa la principal limitació per mesurar la deriva amb aquest instrument. El pols es detecta pel sistema LiDAR distorsionant les mesures de deriva resultants. Aquesta situació sol donar-se quan el polvoritzador circula per terrenys sense vegetació en condicions de baixa humitat. S'ha comprovat experimentalment que, en aquestes condicions, mullar el terreny abans d'iniciar l'assaig disminueix significativament el senyal associat a la presència de pols suspès (>75% de reducció) permetent la mesura de la deriva amb el LiDAR sense interferències apreciables.

Una altra limitació pot provenir del fet que l'equip presenta un cost elevat. Cal indicar però, que aquest instrument s'ha desenvolupat en el marc de diversos projectes d'investigació i no s'ha cercat una finalitat comercial. En aquest sentit, l'equip presenta un potencial de miniaturització que hauria de resultar en una disminució del seu cost. D'altra banda, els costos operatius (personal, temps) d'aquest instrument són molt inferiors als associats a la





metodologia convencional basada en col·lectors passius. A banda de l'anterior, cal remarcar les prestacions superiors que ofereix aquest instrument i que permeten avançar cap a una comprensió més global del fenomen de la deriva.

## Referències

- Gregorio, E., Rocadenbosch, F., Sanz, R., Rosell-Polo, J.R., 2015. Eye-safe lidar system for pesticide spray drift measurement. *Sensors (Switzerland)* 15, 3650–3670. <https://doi.org/10.3390/s150203650>.
- Gregorio, E., Torrent, X., Planas, S., Solanelles, F., Sanz, R., Rocadenbosch, F., Masip, J., Ribes-Dasi, M., Rosell-Polo, J.R., 2016. Measurement of spray drift with a specifically designed lidar system. *Sensors* 16 (4), 499. <https://doi.org/10.3390/s16040499>.
- Gregorio, E., Torrent, X., Planas, S., Rosell-Polo, J.R., 2019. Assessment of spray drift potential reduction for hollow-cone nozzles: part 2. LiDAR-technique. *Sci. Total Environ.* 687, 967–977. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.151>.
- ISO 22856, 2008. Equipment for Crop Protection - Methods for the Laboratory Measurement of Spray Drift - Wind Tunnels. International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 22866, 2005. Equipment for Crop Protection - Methods for Field Measurement of Spray Drift. International Organization for Standardization, Geneva.

L'autoria d'aquest document és del [Grup de Recerca en AgròTICa i Agricultura de Precisió](#) i ha estat elaborat per Eduard Gregori amb la coordinació d'Àlex Escolà i el suport de Carla Román.



Aquesta obra està sota una llicència de Creative Commons Reconeixement-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

*Activitat finançada a través de l'Operació 01.02.01 de Transferència Tecnològica del Programa de desenvolupament rural de Catalunya 2014-2022*