

SEMINARIS D'ESTUDIS UNIVERSITARIS

7

EXPERIÈNCIES D'UV EN PLANTES

Joan Barceló i Coll
Departament de Fisiologia Vegetal
Facultat de Ciències
Universitat de Ciutat de Mallorca

Circular per als membres de la

INSTITUCIÓ CATALANA D'HISTÒRIA NATURAL

La Comissió de Publicacions de la Institució Catalana d'Història Natural està formada pels següents membres (des de la data que s'indica):

Joandomènec Ros (Cap de la Comissió, febrer 1978),
Montserrat Brugués (Botànica, febrer 1979),
Ramon-Maria Masalles (Botànica, abril 1978),
Joaquim Nogués (Geologia, febrer 1979),
Eduard Petitpierre (Zoologia, febrer 1979),
Valentí Sans (Zoologia, abril 1978),
Jordi Serra (Geologia, abril 1978)

EXPERIENCIES D'UV EN PLANTES

Joan Barceló i Coll
Departament de Fisiologia Vegetal
Facultat de Ciències
Universitat de Ciutat de Mallorca

Introducció

La llum visible comprèn les longituds d'ona entre 3800 i 7000 Å. Els seus límits estan establerts per la sensibilitat visual humana mitjana. La radiació UV queda compresa per sota d'aquestes longituds d'ona, entre 3800 i 1200 Å.

La llum visible i l'UV són només una petita part de l'ampli espectre de la radiació electromagnètica que inclou, en ordre decreixent d'energia, les radiacions gamma, raigs X, ultraviolats, llum visible, infraroig, radar i ràdio.

Els raigs X i les radiacions més energètiques poden ionitzar els àtoms i les molècules. D'aquí els ve la denominació de radiacions ionitzants. Els límits entre els raigs X i l'UV no són clars. Una definició pot fundar-se en el motiu de producció de la radiació, en el nivell electrònic afectat per la radiació o en la capacitat de ionització de la radiació. Aquesta última és la més útil en Biologia. A més a més, es considera que la regió UV acaba per sota dels 1000 Å, a partir dels quals pràcticament poden ésser ionitzats tots els àtoms i molècules. A causa d'això, per a la majoria de finalitats en què s'usa en Biologia, l'ultraviolat, pot ésser considerat com radiació no ionitzant.

Si bé l'energia d'aquesta radiació no és suficient per a produir la ionització de les molècules, sí que ho és, i en una mesura millor que l'espectre de la llum visible, per elevar el nivell d'excitació dels electrons de moltes substàncies que tenen la capacitat d'absorbir aquesta radiació.

Les plantes poden utilitzar l'energia de la regió UV de llarga longitud d'ona (390-300 nm) per a moltes reaccions fotoquímiques normals, igualment com aprofiten l'energia de la "llum" i del infraroig proper fins als 1000 nm. L'únic fet decisiu per a aquest procés resideix en la constitució química dels fotoreceptors de les plantes, és a dir, que siguin o no capaços d'absorbir en una determinada regió de l'espectre. En la taula 1 es pot apreciar una selecció de la diversitat de constituents cel·lulars de les plantes que posseeixen màxims d'absorció en la regió UV.

Talau 1

Màxims d'absorció en l'UV de diversos canstituents cel·lulars
(modificat de Sinsherimer, 42)

| Compostos biològics | Màxim d'absorció UV (nm) | Compostos biològics | Màxim d'absorció UV (nm) |
|---------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|
| Ac. nucleics | 260-210 | Clorofil·la a | 360-400 |
| Proteïnes | | Clorofil·la b | 280-380 |
| Tryptofan | 280-230 | Flavines | 223-265-370 |
| Tirosina | 280-230 | Àc. ascòrbic | 265 |
| Fenol | 270-220 | Tocoferol | 295 |
| Ergosterol | 270-290 | Flavones | 250-300-220 |
| Caratenoides | 260-320 320-380 | Flavanones | 250-300-350-200 |
| Porfirines | 350-400 | Flavonols | 250-300-350 |
| | | Catequines | 270-280-210-220 |
| | | Antocianines | 270 |

Precisions terminològiques sobre l'UV

Dintre de la regió UV, dista molt d'ésser uniforme el tipus d'acció biològica, en funció de la longitud d'ona de l'UV, sobre les plantes. Fins i tot físicament hi ha força variacions en el tipus de làmpades disponibles. Recentment, JAGGER (24) ha proposat una reconsideració de la terminologia del UV. Per aquesta terminologia proposa dos tipus de definicions; les unes de caràcter "ampli" per ésser acceptades en comú per part dels biòlegs, químics i físics, i d'altres, de sentit més "estricte", que s'haurien d'entendre com a subdefinicions usades normalment només en un camp molt particular.

La taula 2 indica les divisions biològiques de l'espectre UV i les sinonímies clàssiques més corrents.

Taula 2

Divisions biològiques de l'espectre UV i sinonímies usades més correntment (27)

| 400-320 nm | 320-280 nm | 280-200 nm | 200 nm |
|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------|
| UV de longitud d'ona llarga | UV de longitud d'ona mitjana | UV de longitud d'ona curta | UV extrem |
| UV proper | regió de Dorno | UV llunyà | UV buit |
| UV-A | UV-B | UV-C | |
| "llum negra" | regió eritematosa | regió germicida | regió de Schumann |

JAGGER (24), per a les definicions "àmplies" de les regions de l'UV proposa les següents: radiació UV proper que comprendria les longituds

d'ona entre 300-380 nm i la radiació UV llunyà que englobaria la regió de 120-300 nm.

Un fort avantatge d'aquesta última classificació és que l'extrem inferior proposat per a l'UV proper no sols representa el límit apropiat de la radiació solar que arriba a la terra, sinó que també el punt aproximat on comencen els danys seriosos per a les molècules biològicament fonamentals (proteïnes i àcids nucleics), així com el punt en què la majoria de substàncies sòlides transparents en la regió visible (vidre, plàstics, etc.) comencen a absorbir fortament.

Segons el mateix Jagger, les definicions "estRICTES" es deurién aplicar a regions específiques que cauen dintre de les anteriors. Així, la d'"ultraviolat buit" inclou les longituds d'ona per sota de 185 nm, punt en què l'àtom d'oxigen, el de l'aigua i el de l'aire, comencen a absorbir intensament, per a la qual es requereix el buit. O la d'"ultraviolat mitjà" usat entre 280-320 nm, regió efectiva en la inducció de l'eritema de la pell animal.

Finalment, JAGGER (24) conclou que, independentment de la terminologia usada, sempre s'han de precisar els límits de la longitud d'ona, donada la disparitat de criteris que per les mateixes bandes encara es pot trobar.

PART EXPERIMENTAL

Plantejament i discussió d'algunes experiències

1) Efectes estimulants sobre les plantes de l'UV proper

Normalment se situa a 290-300 nm (10) el límit inferior de la zona fotobiològica a partir de la qual les plantes poden aprofitar l'energia de l'UV en sentit positiu per a les reaccions fotoquímiques d'utilitat metabòlica. Per a una revisió de la diversitat d'accions biològiques provocades per aquesta regió de l'UV, vegeu els treballs de CALDWELL (18), LOCKHART (27), MARTIN & BARCELÓ (30, 31) i KLEIN (26).

En unes experiències realitzades per nosaltres (23, 37, 40, 41) es varen sotmetre plantes de *Nicotiana rustica* L a irradiació diària, durant 1, 2 o 3 minuts, per UV proper de 3550 Å que emetia una irradiació de $17,6 \times 10^7$ erg. La resta de temps les plantes estigueren en les condicions controlades d'un hivernacle (com les plantes control, no irradiades per UV). Es van estudiar fonamentalment els efectes de l'UV sobre el creixement i el metabolisme nitrogenat de les plantes. Els resultats més destacats foren els següents (9,13,14,29,37,40,41):

- (a) Estímul del creixement longitudinal de les plantes provocat per l'UV. Aquest estímul era més gran a les dosis més baixes d'irradiació.
- (b) Un lleuger estímul sobre la floració i la fructificació. Probablement la irradiació actua sobre la gemma terminal bo i induint-hi activitat mitòtica que es tradueix al mateix temps en un estímul de la floració i del creixement longitudinal.
- (c) Estímul de la síntesi proteica en fulles i en les inflorescències, sobretot en les plantes que reberen les dosis més baixes. Aquest fenomen s'observa tant si el nitrogen proteic es refereix a fulles + inflorescències totals, o a percentatge de pes sec.
- (d) La irradiació provocà un estímul sobre la formació de nicotina. Aquest fenomen és notable perquè la nicotina es forma a l'arrel,

de precursors de la seva formació, o bé ha induït canvis dels sistemes enzimàtics o dels reguladors de la biosíntesi de la nicotina.

- (e) Estímul de la formació de DNA i RNA en els òrgans aeris de *Nicotiana rustica* L. L'augment en el contingut de DNA i RNA pot ésser atribuït bé a un influx directe sobre el metabolisme d'aquestes macromolècules o al lleuger estímul que la irradiació exerceix sobre la floració i la fructificació. S'observen en les plantes irradiades tres fets que poden estar relacionats entre sí: estímul del creixement longitudinal, estímul de la floració i fructificació, i augment en el contingut de DNA i RNA. En efecte, l'estímul de la gemma terminal, en passar de l'estat vegetatiu al floral es tradueix en un augment en el nivell de DNA.
- (f) La irradiació ha produït un estímul important sobre el contingut global d'aminoàcids proteics en la part aèria de les plantes. De les tres fraccions d'aminoàcids: àcids, bàsics i neutres, l'estímul és molt clar sobre la fracció de neutres i només lleuger en la d'àcids i bàsics.
- (g) En experiències amb UV proper, per aplicació diària de 10 o 20 minuts, amb plantes de *Petroselinum crispum* (8), hem pogut observar l'efecte estimulante respecte als compostos fenòlics de les plantes, sense que apareixés cap dany sobre aquesta fracció metabòlica. Aquest efecte era més gran en les plantes irradiades per UV proper que en les de control no irradiades i, en aquelles, en major magnitud com més llarg era el temps d'irradiació.
- (h) En un altre conjunt d'experiències (16) realitzades amb *Helianthus annuus* L, el mateix tipus i duració d'irradiació descrit en el apartat anterior (g), origina un increment de grandària i en pes sec del gira-sol, que era superior en les plantes sotmeses a temps més llargs d'irradiació. La irradiació UV proper també provocà un avançament de l'època de floració de les plantes. Un fet interessant en aquesta planta (gira-sol) va ésser l'increment dels àcids grassos totals de la planta provocat per l'UV proper, sobretot en el contingut d'àcids grassos insaturats.

2) Efectes nocius per a les plantes de l'UV llunyà

En les experiències de l'apartat anterior hem pogut comprovar l'efecte estimulante de l'UV proper (3550 Å). Molt diferent és el comportament de les plantes davant de l'acció de l'UV llunyà, per sota dels 290 nm. La irradiació per sota de 290 nm actua en un sentit destructiu, no fisiològic, ja que els organismes no s'han adaptat a aquest tipus de radiació que actualment no arriba a l'escorça terrestre, puix que és absorbida en la capa d'ozon de les zones altes de l'atmosfera.

Experiments realitzats en aquest sentit per nosaltres (2,3,13,29, 30,31), en els quals plantes de *Nicotiana rustica* L varen ésser sotmeses a una irradiació diària d'1, 3 o 5 minuts per UV llunyà de 2537 Å, ens varen conduir als següents resultats més destacats:

- (a) El creixement longitudinal i el pes sec de les plantes eren més petits com més gran era el temps d'irradiació. Les plantes irradiades presentaren malformacions que es manifestaren, en primer lloc, per una curvatura dels marges de les fulles cap dalt. Les fulles es feien més carnosos a causa de l'acumulació d'aigua, per la qual cosa era més petit el percentatge de pes sec.

Els efectes de la irradiació tingueren un caràcter additiu, de

forma que l'efecte depenia més del temps d'exposició que en total havia estat sotmesa la planta a l'UV que de l'estat cronològic de desenvolupament.

- (b) També es veia afectat, per acció de l'UV llunyà, el contingut de clorofil·la a i b, en raó directa al temps d'irradiació. Si es consideren els valors absoluts de clorofil·la a i b per planta i el percentatge de les mateixes clorofil·les respecte a pes sec de planta, s'observen dos efectes independents que s'interaccionen: un de directe sobre la formació de clorofil·les i un altre de creixement, puix que el pes sec d'aquestes plantes representa 1/12 del valor de les plantes control, mentre que la clorofil·la a únicament s'ha reduït a 1/6 i la clorofil·la b a 1/8, aproximadament.
- (c) La relació clorofil·la a / clorofil·la b segueix l'ordre UV-5 > UV-3 > UV-1 > control. Aquest fet indica que la destrucció o la inhibició de la síntesi de clorofil·la b s'ha produït més ràpidament que la de la clorofil·la a.
- (d) La síntesi global de carotenoides no sembla afectada pel tractament amb UV llunyà, puix que les plantes irradiades en són molt riques. Contràriament, s'observa un influx en la interconversió de caroten-xantofil·les, que és objecte actualment de nova atenció per la nostra part.

3) Fotorecuperació, per l'acció de l'UV proper, dels efectes nocius produïts per l'UV llunyà

La fotoreactivació va ésser descoberta per KELNER el 1948 (25) en experiments realitzats amb conidis de *Streptomyces griseus* que havien estat irradiats amb UV llunyà i foren reactivats per l'acció de la llum. Des de llavors, aquest efecte de recuperació, per exposició a la llum, dels danys de l'UV, ha demostrat ésser de presència quasi universal. En el mateix any, poc després de la descoberta de Kelner, DULBECCO (19) trobà el mateix fenomen per al fag T₂ d'*Escherichia coli*. BAWDEN & KLECZKOWSKI (12) demostraren l'efectivitat del mateix fenomen en les fulles de *Phaseolus* i, poc després, en fulles de soja per TANADA & HENDRICKS (44).

La part de l'espectre que es efectiva per la inversió dels perjudicis provocats per l'UV llunyà, aparentment, és la mateixa per a tots els organismes. La seva màxima efectivitat es troba en la longitud d'ona entre 350 i 450 nm, és a dir, les bandes que corresponen a l'UV proper i a la llum blava.

Entre els canvis químics que es poden provocar en l'estructura del DNA com a conseqüència de la irradiació per l'UV llunyà hi ha els següents: formació de dimers de la piridina (reacció fotoquímica per la qual dues pirimidines, per exemple, timina i timina, de la mateixa cadena s'uneixen entre si per dos enllaços covalents, per la qual cosa perden la seva capacitat d'aparellament); canvis químics d'una base (per exemple, per mitjà d'agents alquilants); efectes sobre les purines (encara que són més resistents a l'alteració de les pirimidines); establiment d'unions transversals entre les dues cadenes de la doble hèlix, formació d'enllaços entre el DNA i la proteïna, etc.

A pesar de la preeminència que lògicament han tingut els fotoproductes dels àcids nucleics, de nou es considera interessant reconsiderar la fotoquímica de les proteïnes (43) en aquest tema particular de l'UV.

Se suposa que l'acció de fotorecuperació o fotoreactivació per la llum UV propera o per la llum blava es deu a la acció d'un enzim, l'enzim condensant (22,23,46). Aquest enzim separaria els dimers de la timina

en dues timines i restauraria la situació inicial. En general, els organismes disposen d'altres mecanismes de recuperació en els que no participa la llum. Un d'ells és el de recuperació per excisió, que és considerat més complex que l'anterior i que requereix la participació de diversos enzims (33, 45).

Una altra possibilitat d'acció de la llum, independentment de les comentades abans, és la denominada fotoprotecció. Rep aquest nom la reacció induïda per l'UV d'ona llarga (proper), el qual mitiga els efectes d'altres radiacions tals com l'UV d'ona curta (llunyà). Es distingeix de la fotoreactivació en el fet que funciona quan la llum "protectora" se suministra abans que la radiació nociva (43).

- (a) En una sèrie d'experiments realitzats en el nostre laboratori (20,33,38), s'han pogut demostrar alguns fenòmens de fotorecuperació tant en espècies de dicotiledònies (*Nicotiana rustica*), com en monocotiledònies (*Triticum sativum*). Del plantejament i resultats dels experiments es dedueix una acció de fotorecuperació del creixement i de les fraccions metabòliques considerades (proteïnes, pigments liposolubles) per l'aplicació diària addicional durant deu minuts d'UV proper a plantes que han estat lesionades per l'acció de l'UV llunyà. A aquesta fotorecuperació per l'UV proper se suma un altre efecte de recuperació "fosca", o per l'acció d'altres radiacions de l'espectre visible.

En tot cas, l'efecte de recuperació no era immediat i no es feia ben visible amb diferències acusades fins que es va interrompre el subministre de la irradiació UV llunyana de tipus nociu a les plantes.

- (b) Amb un altre grup d'experiments d'irradiació amb UV proper i UV llunyà sobre *Nicotiana rustica*, *Hordeum vulgare* i *Hordeum distichon* (11, 13, 29, 30, 31, 32) es varen obtenir resultats no tan clars, puix que no es va poder comprovar la fotorecuperació dels danys produïts per l'UV llunyà en addicionar posteriorment dosis superiors d'irradiació amb UV proper.

4) Conclusions

La diversitat d'accions que es veuen afectades per l'aplicació dels diferents tipus d'irradiació UV sobre les plantes requereix un estudi unitari en profunditat on es tracti d'unificar mètodes i criteris per tal d'obtenir un cos unitari de resultats que es prestés a una anàlisi i a una interpretació més fàcil i racional les obtingudes fins ara.

Un punt clau que recentment (39) ha centrat l'atenció dels científics d'aquest camp és la possible naturalesa molecular d'un "suposat" fotoreceptor de les fotomorfogènesis per a l'UV. A pesar dels evidents esforços realitzats ja en aquest sentit, encara se'ns escapa la naturalesa d'aquest fotoreceptor i del possible mecanisme pel qual podria actuar, així com dels efectes diferencials que troben sobretot la seva frontera en el marge de 300 nm que separa, moltes vegades, accions antagoniques de l'UV. Amb tot, però, tampoc no s'ha de prescindir del fet que molts dels fotoreceptors de la planta poden ésser directament afectats per la radiació UV. En tot cas ens trobem dintre d'una àrea d'interrelacions ben complexes i que avui per avui encara se'ns escapen.

B I B L I O G R A F I A

- (1) Barceló Coll, J.: Tesis doctoral. Universitat de Barcelona (1970).
- (2) Barceló, J., Morales, C., Piñol, M.T. & Serrano, M.: *Revista Española de Fisiología* 28, 21-28 (1972).
- (3) Barceló, J., Morales, C., Piñol, M.T., Aleman, M.J. & Serrano, M.: *Revista Española de Fisiología* 28, 29-32 (1972).
- (4) Barceló Coll, J.: *Circular Farmacéutica* núm. 236, 257-308 (1972).
- (5) Barceló, J., Piñol M.T. & Morales, M: *Pharmacia Mediterranea* 10, 1197-1206 (1974).
- (6) Barceló, J., Creus, J. & Galobardes, M.: *Pharmacia Mediterranea* 11 (1976) (en prensa).
- (7) Barceló, J. & Galobardes, M.: *Publ. resúmenes II Reunión Soc. Esp. Fisiología Vegetal*, Tenerife (1976).
- (8) Barceló, J., Torres, M & Baztán, J.: *Anales de Edafología y Agrobiología* (1980) (en prensa).
- (9) Barceló, J. & Baztán, J.: *Pharmacia Mediterranea* 12, 55-64 (1978).
- (10) Barceló Coll, J.: Fotomorfogénesis. En: *Biología celular y molecular* (C. Vicente, coord.) Blume (1979).
- (11) Barceló, J., Cabanzón, L. & Baztán, J.: *Pharmacia Mediterranea* 13 (1980) (en prensa).
- (12) Bawden, F.C. & Keczowski, A.: *Nature* 169, 90-91 (1952).
- (13) Baztán Guembe, J.: Tesis doctoral. Universitat Complutense. Madrid (1978).
- (14) Baztán, J. & Barceló, J.: *Pharmacia Mediterranea* 12, 65-77 (1978).
- (15) Baztán, J. & Barceló, J.: *Publ. resúmenes III Reunión Soc. Esp. Fisiología Vegetal*, Granada 80-81 (1978).
- (16) Baztán, J. & Barceló, J.: *Pharmacia Mediterranea* 13, (1980) (en prensa).
- (17) Baztán, J. & Barceló, J.: *Anales de Edafología y Agrobiología*, (1980) (en prensa).
- (18) Caldwell, M.M.: *Photophysiology*, VI. A.C. Giese, Ed. Academic Press. London 131-174 (1971).
- (19) Dulbecco, R.: Photorreactivation. In: *Radiation Biology*, II. A. Hollaender, Ed. McGraw-Hill Book. New York: 455-486 (1955)
- (20) Galobardes, M.: Tesis doctoral. Universitat de Barcelona (1976).
- (21) Gómez Peña, R.A.: Tesis doctoral. Universitat de Barcelona (1977).
- (22) Ikenaga, M. & Mabuchi, T.: *Radiation Bot.* 6: 165-169 (1966).
- (23) Ikenaga, M., Kondo, S. & Fujii, T.: *Photochem. Photobiol.*, 19: 109-113 (1974).
- (24) Jagger, J.: *Photochem. Photobiol.*, 23: 451-454 (1976).
- (25) Kelner, A.: *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 35: 73-79 (1959).
- (26) Klein, R.M.: *The Botanical Review*, 44: 1-127 (1978).

- (27) Lockhart, J.A. & Brodführer, V.: In: *Handbuch der Pflanzenphysiologie* Ed. W. Ruhland. Springer-Verlag. Berlin. Vol XVI: 532-554 (1961).
- (28) Martin, M., Barceló, J. & Abad, J.: *Publ. resúmenes III Reunion Soc. Esp. Fisiología Vegetal*, Granada 82-83 (1978).
- (29) Martín Gómez, M.: Tesis doctoral. Universitat Complutense. Madrid (1979).
- (30) Martin, M. & Barceló, J.: *Anales de la Real Academia de Farmacia*, 46: 117-124 (1980).
- (31) Martin, M & Barceló, J.: *Anales de la Real Academia de Farmacia*, 46: 209-216 (1980).
- (32) Martin, M. & Barceló, J.: *Abstracts II Congress Federation of European Societies of Plant Physiology*. Santiago de Compostela 278-279 (1980).
- (33) Mateu Belles, J.: Tesina. Facultat de Farmacia. Barcelona (1975).
- (34) Mowat, D. & Pearlman, R.E.: *Photochem. Photobiol.*, 21: 5-11 (1975).
- (35) Piñol M.T.: Tesis doctoral. Universitat de Barcelona (1974).
- (36) Piñol M.T., Barceló, J. & Morales, C.: *Anales de Edafología y Agrobiología*, 38: 245-255 (1979).
- (37) Raduã, P., Piñol, M.T., Morales, C., Barceló, J. & Serrano, M.: *Anales de Edafología y Agrobiología*, 31: 123-132 (1972).
- (38) Ramón Ordinas, M.: Tesina. Facultat de Farmacia. Barcelona (1974).
- (39) Senger, H. (edit.): *The Blue Light Syndrome*. Springer-Verlag. Berlin (1980).
- (40) Serrano, M., Barceló, J., Raduã, P., Morales, C. & Piñol, M.T.: *Anales de Edafología y Agrobiología*, 30: 1149-1162 (1971).
- (41) Serrano, M., Morales, C., Barceló, J., Raduã, P & Piñol, M.T.: *Anales de Edafología y Agrobiología*, 30: 1163-1168 (1971).
- (42) Sinsherimer, R.L.: In: *Radiation Biology*, II, Ed. A. Hollander. McGraw-Hill. New-York: 165-201 (1955).
- (43) Smith, K.C. & Hanawalt, Ph.C.: *Molecular Photobiology. Inactivation and Recovery*. Academic Press. New-York: 85-89 (1969).
- (44) Tanada, T. & Hendricks, S.B.: *Amer. J. Bot.*, 40, 634-637 (1953).
- (45) Tiburcio, A.F.: Tesis doctoral. Universitat de Barcelona (1980).
- (46) Trosko, J.E. & Mansour, V.H.: *Mut Res.*, 7: 120-121 (1969)
- (47) Wellmann, E.: *Photochem. Photobiol.*, 24: 659-660 (1976).

INSTITUCIÓ CATALANA D'HISTÒRIA NATURAL

SEMINARIS D'ESTUDIS UNIVERSITARIS

1. Tècniques de transparentat d'invertebrats i esquelets de vertebrats: Aplicacions (2a edició)
2. Components dels sediments carbonatats. Part I: Components no-esquelètics
3. Tècniques senzilles d'obtenció de preparacions vegetals (2a edició)
4. Algunes tècniques d'obtenció de preparacions d'estructures i de teixits animals
5. Introducció a l'estudi sedimentològic dels cons de dejecció (Alluvial fans) i dels sediments associats
6. Components dels sediments carbonatats. Part II: Components esquelètics
7. Experiències d'UV en plantes

Aquest text correspon al Seminari d'Estudis Universitaris n.º 7 que tingué lloc a Barcelona el dia 24 d'abril de 1976

Barcelona, 1981