

Una quantificació municipal de la força del vent aprofitable a Catalunya

Josep Puig i Boix

Résumé/Abstract

In the light of renewed interest aroused, in industrially developed societies, by the so-called 'new' sources of energy, which the author prefers to consider both old sources (on account of their use at other periods of the history of humanity) and renewable sources (as opposed to fossil and fossil exhaustible ones), this study represents a contribution to the quantification of wind power in Catalonia.

Calculations were not based on meteorological statistics compiled by the Regional Centres of the National Institute of Meteorology but rather on questionnaires carried out in all Catalan municipalities. From a single statistic, later equated to average wind speed, it was possible to calculate the function density of probability of wind speed for each municipality. At the same time, two Wind Energy Conversion Systems (WECS) with certain characteristics were selected and allocated values according to previously calculated wind distribution. Supposing (a) an adequate percentage of the area of each municipality dedicated to the capture of wind energy, and (b) a predetermined spatial distribution of the WECS, the approximate wind energy potential was calculated on a municipal basis.

* * *

Cet article apporte une contribution à la quantification de l'énergie éolienne en Catalogne. L'étude s'inscrit dans le cadre de l'intérêt réveillé dans les pays industrialisés envers ce qu'on appelle les «nouvelles» éner-

gies, que l'auteur préfère appeler vieilles énergies (elles avaient déjà été utilisées tout au long de l'histoire de l'Humanité) et renouvelables (en les opposant aux sources d'énergie fossiles et fissiles, épuisables). Cet essai de quantification n'a pas été effectué en partant des données enregistrées par les centres régionaux de l'Institut National de Météorologie mais en partant des réponses données à une enquête réalisée dans toutes les communes de la Catalogne. On a estimé la fonction densité de probabilité de la vitesse du vent dans chaque commune en partant d'une seule donnée, assimilée à la vitesse moyenne du vent. On a d'ailleurs choisi deux Systèmes de Conversion d'Énergie Éolienne (SCEE) ayant des caractéristiques données et ayant des dimensions en fonction d'une distribution du vent déterminée à l'avance. On a finalement réalisé une estimation du potentiel éolien de la Catalogne à partir de l'acceptation d'un pourcentage raisonnable de superficie communale consacrée au captage du vent et à partir de l'acceptation d'une distribution spatiale déterminée pour l'emplacement des SCEE.

1.0 INTRODUCCIÓ

Per a qualsevol observador perspicaç de la realitat energètica de molts països, sobretot des que s'ha obert l'anomenada «crisi» de l'energia, no pot passar desapercebut l'interès actual per les fonts d'energia velles (ja havien estat usades al llarg de tota la història de la humanitat) i renovables (per contraposició a les fòssils i fissils, no renovables).

Aquest interès s'ha despertat en el si de la major part de les societats anomenades industrialitzades, o en vies d'imitació del model industrialista, que han fonamentat el seu desenvolupament en la utilització dels combustibles majoritàriament no renovables i foranis.

El motiu bàsic pel qual s'ha desvetllat aquest interès pel sol, el vent, l'aigua i la vegetació ha estat en comprovar l'enorme fragilitat d'un dels pilars bàsics sobre els quals s'ha fonamentat l'anomenat «desenvolupament»: les Fonts No Renovables d'Energia, el seu ús i abús.

Paral·lelament s'ha donat un altre fet, a l'abast de qui estigui atent a la realitat energètica: moltes comunitats locals, que havien delegat naturalment les funcions de producció i subministrament d'energia a entitats forasteres sense cap mena d'arrelament a la comunitat, redescobreixen que les noves tecnologies per a aprofitar els recursos energètics locals obren una porta a la recuperació de l'autosuficiència i de l'autoabastiment energètic perduts.

El treball de recerca que presentem aquí és una part d'un treball més ampli,

el qual es va plantejar per demostrar que *Catalunya és un país moderadament ventós, en el qual s'havia donat en el passat una utilització considerable de la força del vent, i en el qual, basant-se en les dades que avui disposem, es podia realitzar una avaluació del seu potencial eòlic, podent representar, en un futur, l'aprofitament de l'energia eòlica, una aportació gens menyspreable a la balança energètica de Catalunya* (PUIG, J., 1982).

Per poder dur a terme aquest treball va ser necessari construir dos tipus de Bases de Dades: una, l'anomenada Base de Dades Eòlica Municipal i l'altra anomenada Base de Dades Tecnològica. En realitat aquesta darrera consta de dues Bases de Dades diferenciades, una referent als Molins de Vent de Catalunya i l'altre referent als Sistemes Convertors d'Energia Eòlica, emprats durant la dècada 1950-1960, i els desenvolupats o en fase de desenvolupament a partir de l'any 1973.

El Model Matemàtic que s'ha construït per simular, en unes determinades condicions, una possible penetració futura de l'ús de l'energia eòlica a Catalunya, ha estat possible gràcies als grans progressos que teòricament i pràcticament s'han efectuat al món des que l'aprofitament de la força del vent torna a ésser tingut en compte seriosament. Té per objecte determinar la distribució de freqüències del vent en un lloc donat, a partir del que he anomenat Codi Municipal de Vent, escollir un SCEE (Sistema Convertor d'Energia Eòlica) ajustat a aquelles condicions, imposar unes condicions d'ocupació superficial i determinar l'energia anyal produïble i el nombre de Sistemes Convertors a emprar.

Aquest Model Matemàtic de simulació ha estat construït utilitzant el llenguatge de programació *BASIC*, en versió de Digital, que és una gran ampliació dels llenguatges *BASIC* emprats comunament, i que per la seva potència el fa comparable a altres llenguatges tradicionalment més potents (*Digital E.C.*, 1980b).

El tractament informàtic del Model Matemàtic s'ha realitzat en l'ordinador VAX 11-780 del Centre de Càlcul de la Universitat Autònoma de Barcelona. És un ordinador amb 2.500 Kb. de memòria principal, el Sistema Operatiu del qual és el VMS-V.3. L'accés a l'ordinador s'ha realitzat a través d'un terminal DIGITAL VT-100 (pantalla i teclat) instal·lat al Departament de Geografia de la U.A.B.

Per als càlculs d'algunes funcions matemàtiques específiques que hom ha precisat per al model, s'ha utilitzat el «Scientific Subroutine Package - SSP» (*Digital E.C.*, 1980a).

Per dibuixar les distribucions de la velocitat del vent la funció de potència dels SCEE i les malles espacials d'ubicació dels SCEE s'ha utilitzat el Paquet de Programes VPLOT (GOOLEY, M., 1981) que permet fer treballar una impressora Printronix-300 a manera de «plotter» Calcomp-565.

2.0 LA QUANTIFICACIÓ DE LA FORÇA DEL VENT

2.1 Avaluació del potencial eòlic

S'han utilitzat diferents mètodes en diversos països, i s'han realitzat diverses avaluacions, algunes fa ja bastants anys. Les més recents van començar a la dècada dels anys 70, que va significar la represa i el retrobament del vent com a recurs energètic.

Al nostre país s'han iniciat amb molt de retard tímids treballs en aquest camp per part de l'administració pública, juntament amb empreses elèctriques.

L'estimació de la força del vent com a recurs energètic presenta problemes ben diferenciats de les estimacions dels recursos energètics no renovables, tant dels anomenats fòssils (carbó, petroli, gas natural) com dels fissils (urani, tori).

La *quantitat d'energia disponible* a partir del vent (QED) varia al llarg de l'any (d'un lloc a un altre) i en el transcurs del dia (d'una hora a una altra). Endemés, l'energia del vent és molt sensible a les condicions orogràfiques del lloc o de la zona on vulgui fer-se la captació.

La *quantitat d'energia que hom pot extreure* del vent (QEE) en un territori donat, és a dir la quantitat d'energia que pot ser produïda per una xarxa de Sistemes Convertors d'Energia Eòlica (SCEE) depèn sobretot de les característiques específiques dels artefactes escollits, de l'alçada on es fa la captació i de l'espaiat horitzontal de les màquines captadores de l'energia eòlica (en el cas de realitzar la captació, no a partir d'un únic SCEE, sinó a partir d'un conjunt de SCEE agrupats en l'anomenat «parc eòlic»).

Atesa la problemàtica específica que presenta l'avaluació del vent com a font d'energia, s'han proposat diferents mètodes de estimació. De fet hom els pot agrupar en aquells que estimen l'energia disponible (ED) i aquells que estimen l'energia que hom pot extreure (EE).

2.2 Avaluació de l'energia disponible

L'energia disponible en la força del vent o també el subministrament natural d'energia eòlica es pot definir com el flux energètic per unitat de temps i per unitat de superfície exposada perpendicularment a la direcció del vent.

De fet correspondria a un Sistema Conversor d'Energia Eòlica (SCEE) que tingués una eficiència de conversió del 100 % i una capacitat de generació energètica il·limitada.

La potència, o l'energia per unitat de temps, disponible a través d'una superfície S [m²] perpendicular a un flux eòlic que es desplaça amb una velocitat V

[m/s] ve donada per

$$PD = 0.5 \times d \times S \times V^3 \quad [Nm/s \text{ o } W]$$

essent d la densitat de l'aire en $[kg/m^3]$.

Un mètode de caracteritzar el potencial energètic de diferents llocs és a través d'estimar la mitjana de Potència Disponible (PDM) per unitat de superfície.

$$PDM/S = 0.5 \times d \times \langle V^3 \rangle$$

essent $\langle V^3 \rangle$ una velocitat mitjana durant un període de temps donat.

Aquesta Potència Disponible per unitat de superfície es mesura en W/m^2 .

Un altre mètode de representació de l'energia mitjana anual disponible és en kWh/m^2 , és a dir transformant l'expressió anterior multiplicant-la per 8.760 hores/any i convertint els W en kW . Aleshores:

$$8.76 \times (PDM/S) = 4.38 \times d \times \langle V^3 \rangle$$

Cal dir que moltes vegades la potència eòlica per unitat de superfície perpendicular al vent és més elevada que la potència solar per unitat de superfície horitzontal (ELDRIDGE, F.R., 1977).

2.3 Avaluació de l'energia que hom pot extreure

La quantitat d'energia que hom pot extreure del vent depèn, per una banda, de la quantitat d'energia disponible (o subministrament natural d'energia eòlica) i, per altra banda, de les característiques operacionals de l'artefacte emprat per a realitzar la captació.

Per tant, la potència (mecànica) d'un Sistema de Conversió d'Energia Eòlica (SCEE) que capta un flux d'aire de densitat d (kg/m^3) i velocitat V (m/seg) ve donada per:

$$PM = 0.5 \times CP \times d \times S \times V^3 \quad [W]$$

essent S (m^2) la superfície de captació i CP l'anomenat Coeficient de Potència.

Hom pot expressar també el Coeficient de Potència (CP) pel quocient entre la Potència Mecànica obtinguda (PM) i la Potència Disponible en el vent (PD). De fet el Coeficient de Potència depèn de la velocitat del vent i, més exactament, de la relació de velocitats entre la velocitat en la part més perifèrica de les pales i la velocitat lliure del vent.

Hi ha estimacions de l'energia que hom pot extreure a partir de la mitjana de l'expressió anterior, és a dir traient la mitjana de la velocitat del vent (V) i el coeficient de potència (CP). Aleshores:

$$PMm = 0.5 \times CPm \times d \times S \times (V^3)$$

Una altra expressió per donar l'energia que hom pot extreure és l'anomenat *capacity factor* o factor de càrrega (CF), que és el quocient entre la Potència Mecànica (PM) i la Potència Nominal (PN), essent la Potència Nominal la corresponent a la velocitat Nominal (VN) del vent.

També hi ha qui expressa l'energia que hom pot extreure del vent en unitats d'energia per unitat de potència nominal (emprant 8.760 h/any vegades el factor de càrrega, si es tracta d'un any, o el nombre d'hores d'un mes si es tracta d'un mes).

2.4 Les primeres avaluacions fetes en països diferents

A l'URSS i sota la direcció de l'Oficina Central d'Energia Eòlica es va arribar a estimar que els vents que bufaven sobre la Unió Soviètica contenien una potència de 10.000 milions de kW (ANÒNIM, 1933a).

A partir de l'any 1920 en què es va fundar la British Electrical and Allied Industries Research Association, a Anglaterra, essent E.W. Golding el seu principal animador, aquesta entitat, conjuntament amb els ministeris d'Agricultura i d'Energia i amb la col·laboració de la indústria elèctrica, realitzà un estudi sistemàtic dels vents a la costa oest de les illes, i arribà a seleccionar possibles emplaçaments per a ubicar-hi algun Sistema Conversor d'Energia Eòlica (GOLDING, E.W., STODHART, A.H., 1952).

El primer problema que es plantejaven era quants llocs ventosos hi havia al país:

A la pràctica caldria determinar quanta energia podria ésser extreta si hom disposés comercialment de màquines eòliques modernes i eficients, de manera que un nombre suficient d'elles es poguessin emprar per interceptar els vents que bufen a la vora de la superfície de la terra. Avui no es poden donar xifres, donat que no coneixem quants emplaçaments eòlics tenim. (VENTERS, J., 1950).

No obstant això, es realitzaren una sèrie d'estimacions a partir de deu emplaçaments situats a Escòcia.

Les investigacions fetes per Electrical Research Association des de l'any 1948,

van mostrar que es podia obtenir 4.000 kWh/any per kW instal·lat, amb velocitats nominals de 13 m/s.

S'instal·laren més de 100 estacions de mesura. De 65 emplaçaments, situats a alçades entre 4 m i 850 m sobre el nivell del mar, 39 tenien velocitats mitjanes de vent per sobre de 9 m/s, donant, amb velocitats nominals de 13 m/s, entre 3.000 i 4.750 kWh/any per kW instal·lat (GOLDING, E.W., 1955a i 1955b).

Des de la fundació de la Reich Wind Energy Research Association a Berlín, durant l'any 1944 es van realitzar tasques de recollida de dades del vent, sense que s'arribés però a fer cap avaluació del potencial eòlic alemany (SIMMONS, D.M., 1975).

L'any 1952, la Danske Elvearkers Forening (l'Associació Danesa de Companys Elèctriques) va fundar una Comissió d'Energia Eòlica, la qual realitzà mesures dels paràmetres del vent a diferents llocs del país. Les seves conclusions foren: a la costa oest de la península de Jutlàndia hom podia produir 1.000 kWh per metre quadrat de superfície escombrada per les pales, en tant que a les costes orientals de les illes es podien obtenir 100 kWh/m² (SIMONS, D.M., 1975).

També a França després de la segona guerra mundial es va dedicar un esforç considerable a conèixer l'estructura del vent des del nivell del sòl fins a 100 m. d'alçada (AILLERET, P., 1946 i 1948; LACROIX, G., 1949; SERRA, L., 1953).

L'aportació més notable va ésser sens dubte el desenvolupament d'anemòmetres especials, és a dir artefactes que mesuraven gairebé velocitats instantànies (anemòmetres de cilindre rugós, amb una constant de temps menor a 1/10 de segon) i energímetres que mesuraven directament l'energia eòlica que produiria un aerogenerador per unitat de superfície escombrada (ARGAND, A., 1961; SALOMON, J., 1967). S'instal·laren uns 350 aparells de mesura repartits per tot el territori francès (alguns fins i tot es van instal·lar en territori català). En algunes zones hom va trobar que es podia recuperar teòricament una energia de 4.000-5.000 kWh/m² a l'any. Per exemple, a la costa NW de Bretanya, hom podia disposar de 5.000 kWh/m² any. Un aerogenerador de 30 m de diàmetre, escombrant una superfície de 700 m² podria produir teòricament 3.5 GWh/any.

A l'Estat Espanyol, la Comisión Nacional de Energías Especiales creada l'any 1953, sota la direcció de l'enginyer P. Blanco Pedraza, va dur a terme una callada tasca de prospecció de llocs escaients per a aprofitar la força del vent. Després d'establir estacions de mesura repartides per tot l'estat, va aconseguir dibuixar un mapa de línies d'igual velocitat del vent, en el qual s'observen zones eòlicament favorables a l'estret de Gibraltar, a Galícia, a Catalunya, a ambdues Castelles i a la vall de l'Ebre (BARASOAIN, J.A. i FONTÁN, L., 1955 i 1961).

2.5 Avaluacions de la potència disponible per unitat de superfície realitzades als Estats Units d'Amèrica

En aquell país americà es van realitzar tres avaluacions del potencial eòlic disponible, partint del mètode d'estimar la Potència Disponible per unitat de superfície.

La primera avaluació referent a New Mèxico va ésser feta pels Laboratoris Sandia (REED, J.W. *et al.*, 1974), i va ésser seguida per les avaluacions de la ERDA (Energy Research and Development Administration), (COTY, V.A., 1976 i GARATE, J.A., 1977).

Tots aquests treballs van ser combinats en el primer mapa eòlic (de potència disponible per unitat de superfície) americà a través del treball realitzat en el Battelle Pacific Northwest Laboratories (ELLIOTT, D.L., 1977).

De fet aquest mapa va resultar molt semblant als mapes de velocitats mitjanes del vent, obtinguts per P. Thomas (1945) per una banda i per l'altra el del National Climatic Centre (1974).

També es dugué a terme una avaluació a partir de les dades de vent a altes capes de l'atmosfera, extrapolant-les a l'alçada estàndar sobre el nivell del sòl (General Electric, 1977).

Endemés, d'aquestes avaluacions realitzades a nivell de tots els Estats Federals, també s'han fet avaluacions a escala regional, comprenent un o més estats.

Així, hom pot citar el realitzat a New Mèxico (REED, J.W. *et al.*, (1974), a Texas (NELSON, V. i GILMORE, E., 1974), a Alaska (WENTINK, T. Jr., 1976), a Oregon (HEWSON, H.W. *et al.*, 1976), a Iowa (TAKLE, E.S., i BROWN, J.M., 1976), a Florida (CHANDRA, S., 1978), etc.

A partir de suposar un Coeficient de Potència (CP) mitjà alguns autors (TODD, C.J., 1977) han estimat l'energia mitjana que hom pot extreure d'una xarxa o parc de Sistemes conversors d'Energia Eòlica (SCEE).

Així mateix algun autor (STODHART, A.H., 1973) ha avaluat els kWh per kW nominal que hom pot extreure d'un hipotètic SCEE que tingui una velocitat nominal d'11 m/s. Un càlcul semblant va ser desenvolupat per Petterssen a partir de la màquina Smith-Putnam de 1.25 MW. (PUTNAM, P.C., 1948).

També per aquest mateix mètode es va dur a terme un mapa (JUSTUS, C.G. *et al.* 1976) que donava la potència que es pot extreure als EUA, expressada en funció del Factor de Càrrega pel MOD-O de la NASA (potència nominal 100 kW amb vent de 8 m/s a 61 m d'alçada).

2.6 Avaluacions eòliques recents als EUA

De fet totes les avaluacions citades abans es poden considerar precursors del treball que, a partir de mitjans de la dècada dels anys 70, s'emprendria i que es pot sintetitzar així:

- valoracions eòliques primerenques (1974);
- síntesi de totes les valoracions realitzades (1977);
- posta a punt del tipus de metodologia i tecnologies per a la realització de valoracions eòliques regionals;
- aplicació del punt anterior a la regió NW (1978);
- valoració dels recursos eòlics a les 12 regions dels EUA (1980-1981);
- valoració energètica nacional (1981);
- millora i actualització de les valoracions regionals (1982).

Tots aquells estudis i avaluacions primerenques van fer planer el camí per a la confecció del mapa referent al potencial eòlic mitjà a 10 m i a 50 m d'alçada dels treballs realitzats a la zona del Nord-oest del Pacífic (HEWSON, E.W. i WADE, J.E., 1978) que comprenia els estats de Washington, Oregon, Idaho, Montana i Wyoming. Aquest mapa es va realitzar dins el programa del Battelle Pacific Northwest Laboratories i el seu objectiu va ésser la valoració energètica del vent a les 12 regions en què hom va dividir la part continental dels Estats Units, Alaska, Hawaï, Territoris del Pacífic, Puerto Rico i les Illes Verges.

El resultat d'aquestes recerques foren els *Wind Energy Resource Atlas* següents:

- Vol 1. *The Northwest Region* (ELLIOTT, D.L., 1980),
- Vol 2. *The North Central Region* (FREEMAN, D.L., et al., 1981),
- Vol 3. *The Great Lakes Region* (PATTON, D.L., et al., 1981),
- Vol 4. *The Northeast Region* (PICKERKING, K.E., et al., 1980),
- Vol 5. *The East Central Region* (BRODE, R., et al., 1980),
- Vol 6. *The Southeast Region* (ZABRANSKY, J., et al., 1981),
- Vol 7. *The South Central Region* (EDWARDS, R.L., et al., 1981),
- Vol 8. *The Southern Rocky Mountain Region* (ANDERSEN, S.R., et al., 1981),
- Vol 9. *The Southwest Region* (SIMON, R.L., et al., 1980),
- Vol 10. *Alaska* (WISE, J.L., et al., 1981),
- Vol 11. *Hawaï and Pacific Islands Region* (SCHROEDER, T.A., et al., 1981),
- Vol 12. *Puerto Rico and U.S. Virgin Islands* (WEGLEY, H.L., et al., 1981),

que van ser publicats entre l'abril de 1980 i el març de 1981.

El mapa que en va resultar va ser presentat a Washington, durant el mes d'octubre de 1981 (ELLIOTT, D.L., BARCHET, W.R., 1981), al mateix temps que la base de dades que ha fet possible aquest monumental treball (BARCHET, W.R., 1981).

Aquests 12 atlas tenen en compte que siguin d'utilitat a una àmplia gamma d'usuaris, que siguin útils tant a escala regional, estatal o local, que siguin fàcils d'interpretar, etc. Evidentment, no resolen el problema de la valoració energètica d'un emplaçament concret.

Serveixen per a estimar els recursos eòlics en zones ben exposades al vent, de baixa rugositat i lliures d'obstruccions, i no serveixen per a estimacions a petita escala o puntuals.

Per a fer possible la realització dels mapes que mostren la variació geogràfica dels recursos eòlics, van escollir la densitat de potència (o potència per unitat de superfície), en comptes de la velocitat del vent, ja que aquella incorpora els efectes combinats de la distribució de les velocitats del vent i la dependència de la densitat de potència de la densitat de l'aire i del cub de la velocitat del vent. L'extrapolació vertical de les velocitats del vent a 10 i a 50 m. d'alçada es va realitzar d'acord amb la llei:

$$V/VO = (H/HO)^{(1/7)}$$

que és aplicable en llocs ben exposats al vent.

Cada Atlas subministra per a cada mes de l'any i per a cada quadrícula (1/3 de grau, longitud per 1/4 de grau, latitud) dels EUA la velocitat mitjana del vent, el flux d'energia eòlica, les desviacions típiques de la velocitat i el flux, el coeficient d'irregularitat (o *pattern factor*), els coeficients de la distribució de Weibull (el factor d'escala i el factor de forma) i el nombre d'observacions.

La realització de les 12 valoracions regionals eòliques als EUA va donar lloc, a més a més, a un ingent volum de dades. Aquestes dades van ser organitzades en una base de dades que fonamentalment conté tres tipus de dades: dades descriptives de l'estació de mesura (nom, ubicació, latitud/longitud/alçada sobre el nivell del mar, alçada de l'anemòmetre, exposició de l'anemòmetre, etc.), distribucions estadístiques de freqüències (velocitats i velocitats mitjanes per cada hora, per direcció, per mes en cada estació), variacions anyals i interanuals (per a cada mes i per a cada any la mitjana i la desviació típica de la velocitat del vent i del flux energètic eòlic, el coeficient d'irregularitat i el nombre d'observacions), xarxa de dades (flux eòlic estacional i anyal, forma de la superfície del sòl, etc. per a cada cel·la).

2.7 Altres avaluacions realitzades: l'«Atlas de Vent Danès»

L'Atlas eòlic danès és el resultat d'un projecte de recerca entorn de les condicions climàtico-eòliques a Dinamarca. El seu objectiu va ésser l'avaluació dels recursos eòlics de cara a cercar emplaçaments per a ubicar-hi Sistemes Convertors d'Energia Eòlica (SCEE). El Projecte, finançat pel Programa Eòlic del Ministeri d'Energia i les Companyies Elèctriques daneses, va ésser dut a terme conjuntament pel Laboratori Nacional Riso i l'Institut Meteorològic Danès (PETERSEN, E.L., *et al.* 1981).

El Laboratori Riso va desenvolupar un mètode que permet de determinar la producció d'energia d'un SCEE concret col·locat en un emplaçament que tingui un determinat tipus de terreny. El mètode és aplicable en terrenys no muntanyosos en zones de latitud temperada. L'exactitud del mètode desenvolupat és tal que permet d'estimar, en molts casos, la producció d'energia amb un error més petit del 5 %.

Aquest mètode es basa a suposar que la distribució probabilística de la velocitat del vent s'aproxima a una distribució de Weibull.

Es va classificar els tipus de superfície del terreny en quatre classes, segons la rugositat.

La rosa dels vents es va considerar dividida en vuit sectors.

Aleshores per a cada tipus de terreny i per a cada direcció de vent van tabular els dos coeficients de Weibull (el coeficient de forma i el d'escala). Endemés, van tabular per a cada tipus de terreny els dos coeficients, suposant que el terreny era el mateix en totes les 8 direccions.

Aquesta metodologia fou aplicada a una sèrie de dades de 15 anys en què es mesurava cada 3 hores: la pressió (per determinar el vent geostròfic, és a dir el vent a uns 1.000 m d'alçada), la temperatura i el vent procedents de la torre meteorològica del Riso (de 123 m d'alçada) per a determinar l'estabilitat i mesures d'elevada qualitat del vent procedents de 15 estacions meteorològiques.

D'aquesta manera qualsevol futur usuari d'un SCEE pot saber, per a un emplaçament donat i un artefacte eòlic concret, quina energia pot esperar obtenir al llarg del temps.

Aquest mètode podria ésser aplicat per a qualsevol altra regió, fora de Dinamarca, havent realitzat les mesures de pressió superficial i disposant de dades eòliques fiables.

2.8 Altres avaluacions. El cas de la República Federal Alemanya

L'any 1980 també Alemanya Federal va acabar de fer la valoració del seu potencial eòlic.

Per a la realització de l'avaluació dels recursos eòlics van diferenciar tres conceptes:

- el potencial eòlic teòric, que no és res més que l'energia cinètica continguda en el vent;
- el potencial eòlic tècnicament utilitzable, que és la màxima energia cinètica que es pot extreure del vent, d'acord amb les lleis de la natura i d'acord amb l'estat de la tecnologia, i ser convertida en energia utilitzable;
- el potencial eòlic econòmicament utilitzable és aquella part del potencial tècnicament utilitzable que es pot convertir en energia útil a un cost econòmic que justifiqui el seu ús enfront d'altres fonts d'energia.

Com que de l'1,5 % al 2,5 % de l'energia que el sol irradia cap a la terra és convertida constantment, en energia cinètica dins de l'atmosfera, i com que Alemanya Federal té una superfície de $0,25 \times 10^6 \text{ km}^2$, el potencial eòlic teòric es de $1,5 \times 10^{14} \text{ TWh}$ a l'any.

Per avaluar el potencial tècnicament utilitzable van partir de les dades eòliques procedents de 16 estacions de mesura. Eren majoritàriament mesures horàries, exceptuant dues estacions (que mesuraven mitjanes cada 10 minuts) i l'estació de la torre olímpica de Munich que feia 10 mesures per segon. Les sèries de dades anaven de 4 fins a 9 anys i les alçades de mesura anaven de 5 a 290 m sobre el nivell del sòl.

Totes les mesures es van uniformar a 100 m d'alçada. A partir de definir una màquina concreta (GROWIAN I) i prenent-la com a referència, juntament amb les distribucions de freqüència del vent obtingudes a partir de les dades meteorològiques, van estimar el potencial tècnicament utilitzable.

La xifra que donen referent al potencial tècnicament utilitzable és de 220 TWh/any. Això equivaldria al 65 % de l'energia elèctrica generada a la RFA durant l'any 1977 i al 30 % de l'energia elèctrica que pensen generar l'any 2.000.

Per avaluar el potencial econòmicament utilitzable van realitzar un model de simulació per a la integració de l'energia eòlica a la xarxa d'energia elèctrica. La conclusió a què van arribar és que en una primera etapa només seria competitiu un 10 % del potencial econòmicament utilitzable, això es 22 TWh/any.

Voldria dir que 20 parcs eòlics, cadascun amb una potència instal·lada de 300 MW (serien 100 Growians de 3 MW cadascun). Produiran 19 TWh/any eòlics. L'índex de penetració seria del 8,2 % respecte al sistema elèctric alemany; cobriria el 7 % de la demanda elèctrica total i desplaçaria el 2,2 % (1.500 MW) de la potència instal·lada convencional. Representaria, en total, instal·lar 2.000 Growians.

Si s'instal·lessin 40 parcs eòlics de les mateixes característiques, es produirien 38 TWh/any (el 14 % de la demanda elèctrica) i desplaçarien 2.160 MW (el 3,2 % de la potència instal·lada convencional). Seria instal·lar 4.000 Growians.

Això és una estimació conservadora del potencial eòlic de la regió costanera del nord d'Alemanya, que comprèn el 14 % de la superfície total de la RFA. Els 4.000 Growians ocuparien el 0,2 % de la superfície de l'esmentada zona.

2.9 L'Estat Espanyol i l'avaluació del potencial eòlic

No ha estat fins a l'any 1981 que l'Administració de l'Estat Espanyol ha decidit de reprendre els treballs necessaris per a arribar a conèixer el potencial eòlic de l'Estat. Llàstima que s'hagin deixat passar més de 7 anys des que l'Administració Nord-americana reiniciés les tasques per a valorar el potencial eòlic al seu país.

Però el més greu és que han passat 21 anys (!) des que el Director de la Comisión Nacional de Energías Especiales va escriure (BLANCO PEDRAZA, P., 1961):

[...] la resolución de los mismos (es refería a alguns problemes que aleshores plantejava l'aprofitament de la força del vent) contribuiría a acelerar el *aprovechamiento industrial de esta fuente de energía*, asunto de *gran interés para nuestro país, que no está sobrado de recursos energéticos*. Por ello me atrevo a sugerir a los especialistas a que compete el estudio de cada uno de los problemas citados, que no regateen esfuerzo y colaboración para encontrar las soluciones aceptables y que contribuyan de este modo al aprovechamiento, en beneficio de todos, de esa *riqueza natural que es la energía eólica* (Els subratllats són nostres).

2.9.1. El «Mapa Eólico Nacional»

L'anomenat Mapa Eólico Nacional serà en realitat el Mapa Eòlic de tot l'Estat Espanyol.

Cal remuntar-se al Conveni existent (2/4/1981), entre el Instituto Nacional de Meteorología i la Dirección General de Innovación Industrial y Tecnología per a veure els orígens de la realització del Mapa Eólico Nacional. Aquest conveni era per a la realització conjunta de programes d'investigació en el camp comú de la Meteorologia i Contaminació Atmosfèrica d'origen industrial.

A partir de l'interès mostrat per algunes companyies elèctriques de conèixer el potencial eòlic de les seves zones, es va establir un altre Conveni (22/7/81) entre la DGII y T, el CEE, el INM i ASINEL per a la realització d'un projecte anome-

nat Mapa Eòlico Nacional, el qual consistiria a valorar el potencial eòlic espanyol segons l'avantprojecte presentat pel INM.

El projecte comprèn la valoració eòlica a tres escales espacials:

a) Nacional: determinació del mapa eòlic, delimitació de les conques eòliques, característiques del vent, potència mitjana aprofitable i corbes de duració de potència.

b) Zonal: determinació de les característiques eòliques d'una zona determinada, calculant la distribució espacial de la potència eòlica aprofitable i la delimitació de subzones òptimes.

c) Puntual: estimació de l'aprofitament de l'energia eòlica en un emplaçament determinat.

Quant al punt a) s'ha dividit l'Estat Espanyol en una quadrícula d'1° de latitud per 1° de longitud, on es posaran equips de mesura i registre. Totalitzaran 67 a la península i 13 a les illes. El període de mesura mínim serà d'un any.

Quant al punt b) el nombre de mesuradors d'una zona estarà comprès entre 5 i 10, essent el període de mesura comprès entre sis mesos i un any.

Quant al punt c) els mesuradors de vent seran 3-5 funcionant 3 mesos, i després instal·lació d'una torre de 50 m amb 3 mesuradors a nivells diferents, funcionant entre 6 mesos i l'any.

Els 80 aparells de mesura seran aportats per la DGIIT. El CEE i ASINEL finançaran els treballs i ASINEL finançarà tots els estudis zonals i puntuals.

L'execució del programa per part del INM comprèn les fases següents:

- projecte,
- prescripcions tècniques dels mesuradors,
- elecció dels emplaçaments,
- instal·lació dels mesuradors,
- manteniment i revisió,
- recollida i centralització de la informació,
- control, recepció, informació, banc de dades,
- tractament de les dades,
- estudis parcials i generals,
- publicació dels resultats.

Sembla, de moment, que el programa està desenrotllant el punt 4, després d'haver enviat a tots els Centros Zonales del INM (en total 15) sol·licitant informació general, anyal i per estacions, referent a l'existència de molins de vent, tallavents... així com informació sobre indicadors biològics.

2.9.2 *El Mapa Eòlic de Catalunya*

El Departament d'Indústria i Energia de la Generalitat de Catalunya, conjuntament amb les empreses elèctriques d'àmbit català, convocaren (15/7/1981) un concurs per a l'adjudicació del treball «Estudis previs i de definició dels equips necessaris per a la confecció del Mapa Eòlic de Catalunya». El 12/11/1981 es va fallar el resultat del concurs i a primers d'any es van iniciar les tasques esmentades en la memòria presentada per l'equip guanyador (PUIG, J. i MESEGUER, C., 1981). Aquest estudi comprèn:

- metodologia a seguir a la confecció del mapa,
- dades necessàries,
- dades existents,
- definició de les dades a mesurar,
- definició dels aparells a utilitzar,
- ubicació dels aparells de mesura,
- definició del sistema de tractament de dades,
- confecció del mapa,
- proposta de sistema d'actualització del mapa.

Actualment el treball està finalitzat.

En el marc d'aquest treball es va enquestar tots els municipis de Catalunya, per recollir informació sobre el vent i el seu aprofitament (PUIG, J. i MESEGUER, C., 1982). Dels 935 municipis enquestats (935 via Ajuntament i 565 via Unió de Pagesos, totalitzant 1.500 enquestes, 1,6 enquestes per municipi) es disposa d'informació de 514 (representa el 54,97 % dels enquestats).

Això ha permès de classificar els municipis del nostre país en: molt ventosos, bastant ventosos, poc ventosos, molt poc ventosos i gens ventosos, en base a un codi que va de 5 (molt vent) a 1 (gens de vent); i ha donat lloc a l'anomenat Mapa Popular de Vent de Catalunya.

L'enquesta també ha permès de detectar 150 noms de lloc geogràfics que contenen en el seu topònim la paraula «vent»; ha permès de recopilar 228 noms diferents dels vents a les comarques, 709 possibles emplaçaments de futurs SCEE o llocs on fa més vent del municipi (103 situats en municipis «molt ventosos», 364 en municipis «bastant ventosos», 66 en municipis «poc ventosos» i la resta, 176, en municipis «molt poc o gens ventosos»). Endemés, ha permès de localitzar 81 observadors (amb aparells de mesura o sense) del vent i més de 500 molins de vent (mecànics i/o elèctrics). També ha permès de conèixer les 10 comarques més ventoses, segons els coneixements populars de la gent (és a dir aquelles en què la mitjana dels municipis està compresa entre «bastant» i «molt ventosos»).

2.10 La quantificació del vent a Catalunya des del punt de mira del seu aprofitament energètic

Per a poder realitzar una quantificació precisa del vent al nostre país, caldria disposar d'observacions d'aquest fenomen meteorològic al llarg de períodes de temps continuats, en llocs repartits per tota la geografia, a fi de cobrir la més variada gamma de zones diferenciades. Avui per avui això no és possible per una sèrie de raons que es tractaran a continuació. Algunes d'aquestes s'exposen ja d'entrada:

- la no cobertura, per les estacions meteorològiques existents avui de tot el territori nacional català, sinó tan sols de la part costanera;
- la no adequació de les instal·lacions existents, a la mesura específica del vent, tant pel que fa referència a la seva ubicació física, com pel que fa al tipus d'aparells de mesura i registre emprats;
- la no disponibilitat de suficients mesures del vent en alçada a Catalunya.

2.11 Fonts d'informació disponibles

No va ésser fins a finals del segle passat que s'establí la «Red Meteorológica de las provincias de Barcelona, Baleares, Gerona, Lérida y Tarragona», i que E. Fontserè s'encarregà de l'organització de la xarxa meteorològica de Catalunya i Balears. A partir d'aquest moment es començaren a recollir dades sistemàtiques del vent, que feren possible els estudis posteriors per a comprendre el fenomen eòlic. Cal destacar especialment el període 1921-1937 en què va funcionar el Servei Meteorològic de Catalunya, el qual realitzà una importantíssima tasca (establiment d'una àmplia xarxa d'observadors, publicació de les dades recollides, estudis climatològics, etc.), interrompuda violentament per l'alçament militar feixista; la xarxa d'observació quedà desorganitzada (ni tan sols avui s'ha recuperat el nivell d'aquells anys), es dispersà l'equip humà i es destruïren molts arxius.

Les fonts d'informació, avui disponibles i referents als paràmetres característics dels vents, són d'una banda els registres meteorològics que normalment aplega el Instituto Nacional de Meteorología, INM, a través de les estacions meteorològiques que depenen dels Centros Zonales; i, d'altra banda, les dades recollides per la Comisión Nacional de Energías Especiales als anys cinquanta.

També disposen de registres de vent algunes companyies de producció i distribució d'energia elèctrica, que tenen instal·lats aparells de mesura en embassaments i centrals tèrmiques.

En darrer terme, i motivat pels problemes ecològics ocasionats pel «desenvolupament econòmic» dels darrers anys, es disposa de sèries curtes i/o irregulars de mesures del vent en les estacions d'ICONA (vigilància contra incendis forestals), en determinades ciutats (contaminació atmosfèrica), etc.

2.12 Centro Meteorológico Zonal del Pirineo Oriental

Disposa dels registres èlics d'un seguit d'estacions meteorològiques, que llistem a continuació:

Estació	Període de registre	Mesures diàries	Estat actual
C.N. Ascó	1972-1977	4	funciona
Baetulo	1975-1981	4	funciona
Cap Begur	1945-1968	3	inexistent
Barcelona:			
Universitat	1933-1936	4	inexistent
Travessera	1936-1970	3-4	inexistent
Drassanes	1970-1981	4	funciona
Putxet	1974-1981	4	funciona
Obs. Fabra	1903-1981	1-3	funciona
Aer. Barna.	1946-1981	3-4	funciona
C.T. Cubelles	1977-1981	4	funciona
Figuères	1945-1981	3	funciona
Girona	1935-1977	3	inexistent
Aer. Girona	1972-1981	4	funciona
Granollers	1964-1975	-	inexistent
La Molina	1952-1981	3	funciona
Poble Mafumet	1973-1981	4	funciona
Lleida	1944-1981	3-4	funciona
Turó de l'Home	1940-1981	3-4	funciona
Base Aèria Reus	1952-1981	3	funciona
Sabadell	1946-1979	-	inexistent
St. Cugat	1951-1962	1	inexistent
St. Llorenç	1957-1978	3	inexistent
Sru d'Urgell	1945	3	inexistent
Taradell	1950-1954	2-3	inexistent
Vic	1951-1962	3	inexistent
St. Julià	1940-1941	3	inexistent
Tarragona	1935-1981	3	funciona
Obs. de l'Ebre	1949-1981	4	funciona
C.N. Vandellòs	1968-1981	4	funciona
C.T. Ceres	1978-1981	2	funciona
C.T. Figols	1948-1977	2	inexistent

Les mesures diàries que hi ha enregistrades oscil·len entre 1 i 4, a les hores solars següents: 1h, 7h, 13h, 18h. Ens referim a les dades que hi ha disponibles al Centro Meteorológico Zonal del Pirineo Oriental, a Barcelona.

Cal manifestar que hi ha algunes estacions que tenen més registres diaris. Però aquestes dades no estan al Centro Zonal, sinó en la mateixa estació. Són les següents:

Estació	Mesures diàries
Barcelona-Putxet	10
Aeroport Barcelona	48
C.T. Cubelles	12
Aeroport Girona	48 (abril-nov) 34 (nov-abril)
Turó de l'Home	7
Base Aèria Reus	6
Observatori de l'Ebre	24
C.N. Vandellòs	24

2.13 Comisión Nacional Energías Especiales

Les dades que aquesta Comissió va recollir, durant el temps que va funcionar, estan dipositades al INTA (Instituto Nacional de Técnicas Aeroespaciales).

Des de l'any 1954, en què es va crear la Comisión Nacional de Energías Especiales, dependent del Patronato Juan de la Cierva de Investigaciones Científicas, s'establí una xarxa de medició dels paràmetres del vent a tot l'Estat Espanyol. En total foren 55 estacions de mesura, de les quals 43 estaven equipades amb anemòmetres, 7 amb energímetres i la resta amb ambdós tipus d'aparells.

Pel que fa referència a Catalunya va realitzar mesures especials en els següents punts de la geografia catalana:

Punt de mesura	Temps de mesura	Watts/m ²
Montjuïc	4 anys (A)	78
Cap Begur	5 anys (A)	134
Cap Creus	9 anys (A)	286
Portbou	3 anys (E)	1.134
Manso Seco	3,2 anys (E)	219

2.14 Centrals Elèctriques

Les empreses elèctriques d'àmbit català tenen ubicades estacions meteorològiques en embassaments i centrals tèrmiques (clàssiques i nuclears).

Algunes d'aquestes estacions mesuren dades de vent (velocitat o força i/o direcció). Els aparells de mesura estan situats generalment en llocs molt desfavorables a la mesura del vent.

Segons les mateixes empreses elèctriques es disposa de dades de vent en els emplaçaments següents:

Estació	Tipus d'aparell	Mesures diàries
Canelles (ENHER)	cassolletes	recorregut diari
Cavallers (ENHER)	cassolletes	recorregut diari
Santa Anna (ENHER)	cassolletes	recorregut diari
Ribarroja (ENHER)	cassolletes	recorregut diari
Escalaes (ENHER)	cassolletes	recorregut diari
Talarn (FECSA)	de placa	1
Camarassa (FECSA)	de placa	1
Estany Gento (FECSA)	de placa	1
Capdella (FECSA)	de placa	1
Molinos (FECSA)	de placa	1
Pobla Segur (FECSA)	de placa	1
Manresa (FECSA)	de placa	1
Casa Barba (FECSA)	de placa	1
Ribes (FECSA)	de placa	1
Freser (FECSA)	de placa	1
Sta. Margarida (FECSA)	de placa	1
Serós (FECSA)	de placa	1
Tabescan (FECSA)	de placa	1
Viella (FECSA)	de placa	1
Flix (FECSA)	de placa	1
Baqueira (FECSA)	de placa	1
Arties (FECSA)	de placa	1
Llavorsí (FECSA)	de placa	1
Bosost (FECSA)	de placa	1
Terradets (FECSA)	de placa	1
Sils (FECSA)	de placa	1
St. Boi (FECSA)	de placa	1

En aquest llistat no s'han inclòs aquelles estacions que subministren dades al CMZPO i que apareixen en l'apartat anterior.

2.15 Estacions de mesura del ICONA

L'Institut para la Conservación de la Naturaleza té situats aparells de mesura del vent en les torres forestals d'observació que té repartides per Catalunya. Només mesuren durant els mesos d'estiu, una vegada al dia, la direcció i la velocitat del vent.

Les estacions són les de: Puig Montagut, La Baltasana, Prats del Compte, Llagostera, Vidreres, la Tirvia, Solsona.

2.16 Institut d'Investigacions Pesqueres

En el marc d'un treball de recerca sobre els corrents marins en la plataforma litoral mediterrània l'IIP ha instal·lat estacions de mesura dels vents (entre altres fenòmens) a la plataforma petroliera Delta, a la plataforma Afortunada i a la plataforma Amposta.

2.17 Altres observadors i estacions de mesura

Amb motiu de la realització dels treballs previs per a la confecció de l'Atlas Eòlic de Catalunya es va realitzar la ja esmentada enquesta a tots els municipis de Catalunya demanant, entre altres coses, si hi havia o hi havia hagut estacions de mesura del vent de qualsevol tipus.

Com a resposta hom va obtenir un ampli ventall d'observadors del vent a Catalunya, que va des de persones afeccionades a la meteorologia fins a observadors dels fars, de les torres forestals, etc. Els mètodes de mesura emprats per aquests va des d'aparells clàssics fins a mesura a ull (escala Beaufort), tot passant per anemòmetres de placa utilitzats en els seus embassaments, tant per moltes escoles com per alguna empresa elèctrica.

La relació d'aquests observadors és la següent:

Estació	Tipus d'aparell	Mesures diàries
Aeroport		
Cerdanya-Andorra	de cassoletes	3
Solvay	de cassoletes	24
Vila-seca	de cassoletes	1
Escola (Aiguafreda)	de placa	1

(continuació)

Estació	Típus d'aparell	Mesures diàries
Cardedeu	de cassoletes	2
Igualada	de cassoletes	—
Mataró	de cassoletes	1
Cabrils	?	?
L'Escala	de cassoletes	1
Estartit	escala Beaufort	3
Far de Palamós	escala de 0-6 visual	1
Far de Tossa	escala de 0-6 visual	1
Far de St Sebastià	escala de 0-6 visual	1
Far de Roses	escala de 0-6 visual	1
Far de Cap de Creus	escala de 0-6 visual	1
Far Port de la Selva	escala de 0-6 visual	1
Col·legi (Palamós)	de placa	2
St. Feliu de Guíxols	cassoletes	1
Caldes Montbui	cassoletes	—
La Bisbal de Falset	escala Beaufort	1
Radio Liberty (Pals)	d'hèlice	12
Esparreguera	?	—
Base Paní, Roses	?	—
Vilamallà	?	?
EGA Alfarràs	cassoletes	—
SAT Vall d'en Bas	cassoletes	1
Breda	escala Beaufort	1
Piera	?	?
El Vendrell	escala Beaufort	2-3
Centre Lectura (Reus)	E.B i cassoletes	2
Alforja	?	?
Cambrils	?	?
Riudecanyes	de placa	2
Escola (Montbrió)	de placa	1
Escola (Riudoms)	de placa	1
Escola (Mora la Nova)	de placa	—
Escola (La Sènia)	de placa	1
Vimbodí	?	?
Falset	?	?
Tivissa	?	?
Palma d'Ebre	?	?
Ginestar	?	?
Vinebre	?	?
Torre d'Espanyol	?	?
Finca Migjoseu (Tortosa)	?	?
Ametllà de Mar	?	?
la Llacuna	?	?
St. Llorenç Morunys	?	?

(continuació)

Estació	Tipus d'aparell	Mesures diàries
Cubells	?	?
Tàrraga	cassoletes	
Ciutadilla	?	?
Esterri d'Aneu (HECSA)		1
Ivars de Noguera		1
Baqueira (Salardú)		1
Puig de Montgut (ICONA)	cassoletes	1 (mesos d'estiu)
La Balasana (ICONA)	cassoletes	1 (mesos d'estiu)
Prat del Compte (ICONA)	cassoletes	1 (mesos d'estiu)
Llagostera (ICONA)	cassoletes	1 (mesos d'estiu)
Casa Munder (ICONA)	cassoletes	1 (mesos d'estiu)
La Tirvia (ICONA)	cassoletes	1 (mesos d'estiu)
Solsona (ICONA)	cassoletes	1 (mesos d'estiu)

A més a més d'aquests observadors i estacions de mesura en l'enquesta als municipis, també es va detectar l'existència de les estacions de mesura del INM ja citades abans.

2.18 Una valoració crítica de les dades

A despit de la quantitat d'estudis referents al vent, tant en superfície com en alçada, realitzats per l'equip de col·laboradors del professor Eduard Fontserè en el si del Servei Meteorològic de Catalunya (Reial Acadèmia de Ciències, 1961 i 1970), cap d'ells no va ser enfocat de cara a l'aprofitament energètic, sinó més aviat de cara a l'aviació (aleshores es començava a desenvolupar), de cara a la climatologia o de cara a comprendre el fenomen vent.

Si bé de les llistes confeccionades i que s'han citat anteriorment hom pot deduir una regular cobertura de tot el territori nacional català, l'estudi detallat dels diferents tipus d'estacions de mesura mena a la conclusió que caldria modernitzar, cohesionar i reubicar tota aquesta xarxa, si hom vol fer-la útil des del punt de mira d'una valoració energètica del vent.

De totes les estacions existents molt poques estan ubicades en emplaçaments on es pugui instal·lar un Sistema Conversor d'Energia Eòlica (SCEE), és a dir en un lloc que per les seves característiques sigui eòlicament favorable.

De les estacions que havien existit cal exceptuar de l'afirmació anterior alguna de les estacions de mesura que va instal·lar la desapareguda Comisión Nacional de Energías Especiales.

Això ja és una gran limitació, que es confirma quan s'estudien les dades registrades, sobretot si s'observa com es passa de les dades mesurades i registrades sobre una banda contínua de paper a les dades escrites en els fulls del INM. La lectura visual d'una banda, ben poc llegible puntualment, suposa la introducció d'errors en les velocitats puntuals, a no ser que hom realitzi la tasca de digitalització de les bandes amb la finalitat de poder-ne extreure valors puntuals.

Una altra gran limitació és la gran diversitat d'aparells i de sistemes de mesura: anemòmetres de cassolletes, dels quals uns mesuren la velocitat instantània i altres recorreguts diaris del vent; anemòmetres de placa, escala Beaufort, escala dels Fars, etc.

Endemés, cal afegir a tot això, que en les sèries llargues de dades s'han produït canvis en la ubicació física de l'aparell de mesura, ja sigui perquè ha canviat la posició, ja perquè ha canviat l'alçada on es feia la mesura.

Per posar només uns exemples:

- L'observatori del Turó de l'Home, al massís del Montseny, fa més de cinc anys que té avariats l'aparell de mesura i de registre, des que un temporal va abatre la torre i va fer malbé l'aparell. A hores d'ara encara no tenen instal·lat el nou, el qual va tardar molt a arribar de Madrid, donat que no tenen assignat pressupost per a la torre de suport. Mentrestant, i a despit de les reclamacions constants de l'observador, realitzen les mesures del vent amb un anemòmetre manual ben poc precís. I això passa en un dels observatoris clau, pel que fa al vent, de Catalunya.

- Les dades procedents de la CT de Cubelles presenten sistemàticament calmes a les hores d'observació nocturnes (és a dir, a la 1 i a les 7 h.);

- les dades procedents de l'aeroport del Prat, havent-se escollit 24 dades de les 48 que registren, presenten força calmes durant les hores nocturnes;

- les dades de la Base Aèria de Reus no tenen registrats valors de vent a la nit;

- a les dades procedents de Begur (observatori inexistent a l'actualitat), el valor de la ràfega màxima coincideix sistemàticament amb el valor màxim de les quatre observacions diàries (a les 1, 7, 13 i 18 hores);

- en les dades procedents de Figueres hom no pot diferenciar les calmes dels moments en què per qualsevulla raó no s'ha pogut fer l'observació. A més a més, l'aparell de mesura a baixes velocitats del vent té una precisió (de fins a 0.5 km/h) i a altes velocitats una altra (a partir de 10 km/h mesura de 10 en 10).

Una tasca de cohesió de tota aquesta diversitat de dades èdiques i d'estructuració d'una xarxa d'observació i mesura és urgent de crear al nostre país. Llàstima que hagin passat més de 20 anys des que el president de la Comisión Nacional de Energías Especiales recomanés:

Con vistas a la prospección eólica interesa el desarrollo de un anemómetro con las siguientes características:

a) capacidad de registro automático durante períodos de tiempo no inferiores al mes;

b) que el registro de sus bandas sea susceptible de ser analizado por máquinas calculadoras automáticas, con vistas a la obtención y clasificación de los datos estadísticos del viento;

c) que la duración de su servicio, en las condiciones meteorológicas que debe realizarlo, no sea inferior a 10 años, con revisión de frecuencia no inferior a 2 años. (BLANCO PEDRAZA, P., 1961)

i no s'hagi fet, fins molt recentment, absolutament res en aquest camp.

Totes les dades procedents de les estacions de mesura meteorològiques, exceptuant-ne alguna, han de ser considerades amb molta cura, puix que donar-les per vàlides pot suposar arribar a conclusions errònies.

Així, en les dades registrades a l'Observatori de Badalona (i guardades al INM), hom constata que a despit d'haver-hi calmes a les 4 hores del dia en què es realitzen registres (1, 7, 13, 18 hores), en realitat la velocitat mitjana del vent en el mateix dia no és nul·la, ja que el recorregut total del vent és diferent de zero.

Un fet més que posa en relleu la poca fiabilitat de les dades disponibles en els fulls emmagatzemats en el Centro Zonal del Pirineo Oriental de Barcelona, és el que en un projecte conjunt (hispano-nord-americà) en el qual es desenrotlla una investigació dels corrents marins de la plataforma continental mediterrània, s'hagin reburjat les dades de vent contingudes en els fulls del Centro Zonal i s'hagi optat per la digitalització de les dades contingudes en les bandes originals registrades.

Per poder realitzar una valoració, a partir de dades mesurades del vent, caldria disposar d'una xarxa d'estacions de mesura que complissin, almenys, amb els requisits següents (WMO, 1971):

a) Que l'estació de mesura estigui situada en el que la World Meteorological Organization defineix com a terreny obert, és a dir, que la distància entre el punt de mesura i qualsevulla obstrucció o obstacle, en qualsevol direcció, sigui d'almenys 10 vegades l'alçada de l'obstrucció o de l'obstacle.

b) Que l'aparell de mesura estigui a una alçada d'almenys dues vegades l'alçada de l'obstacle, en el cas que l'aparell sigui situat a sobrevent de l'obstrucció.

c) Que la situació de l'aparell de mesura sigui a una alçada compresa entre cinc i deu vegades d'alçada de l'obstacle, en el cas que l'aparell estigui situat a sotavent de l'obstrucció.

d) Que si l'aparell de mesura està situat al damunt d'un edifici, l'alçada per sobre de la teulada sigui almenys més gran que una o una i mitja vegades l'alçada entre el nivell del sòl i la part més elevada de l'edifici.

Sempre que un aparell de mesura del vent no compleix aquest requisit, s'ha demostrat que les mesures realitzades estan falsejades.

Amb això no volem pas dir que les dades procedents de les estacions de mesura actualment existents siguin rebutjables per principi; únicament volem deixar clar que la tasca de prospecció eòlica s'inicia ara, i que cal que disposem de moltes més dades abans de poder fer afirmacions fiables sobre el potencial eòlic de Catalunya.

Que no passi com va ocórrer fa algun temps a Califòrnia, on tots els experts posaven en dubte que hi hagués un potencial eòlic important. Es basaven en l'anàlisi de les dades registrades procedents, principalment, d'aeroports. Doncs bé, les valoracions realitzades, a partir dels programes de prospecció endegats per la Comissió d'Energia de l'Estat Californià, han donat lloc a una veritable «mina d'or» eòlica. Dotze estudis recentment finalitzats conclouen que només en cinc comtats es poden instal·lar 5.580 MW eòlics i en tot l'Estat uns altres 7.377 MW més (CEC, 1981). Ja un estudi realitzat l'any 1978 preveia que, amb un modest esforç, Califòrnia podia arribar a tenir 12.000 MW instal·lats eòlics, entre els anys 1995 i 2000 (Aerospace Corp. i CEC 1978).

A despit de la manca de dades i de la poca fiabilitat de les dades existents, avui per avui és possible realitzar una quantificació del vent a Catalunya, que si bé pot no ésser matemàticament exacta, permet disposar d'una informació a partir de la qual es pot anar ajustant la valoració del potencial eòlic català, en la mesura que hom disposi de dades més acurades.

2.19 Diverses avaluacions del Potencial Eòlic Català aplicant mètodes generals d'estimació

2.19.1 Segons el mètode emprat a la RFA

Des d'un punt de mira de la circulació general a gran escala i en valors mitjans anyals i espacials, es pot considerar que el 0,7 % de la radiació solar incident a les elevades capes de l'atmosfera (aproximadament $2,3 \text{ W/m}^2$) es dedica a la creació de l'energia cinètica (hi ha autors que creuen convenient de corregir aquesta xifra, perquè no coincideix gaire amb estimacions directes realitzades, que donen xifres compreses entre 4 i 10 W/m^2).

L'estimació del Potencial Eòlic Teòric a la República Federal Alemanya (JARASS, L., *et al.*, 1981) és realitzat a partir de la consideració de que a les capes altes de l'atmosfera la fracció dedicada a la creació de l'energia cinètica és $6,85 \text{ W/m}^2$. Per a la superfície de la República Federal això representa un Potencial Eòlic Teòric de:

$$PET = 1,5 \times 10^4 \text{ TWh/any}$$

Ara bé, com que aquesta quantitat no és totalment recuperable, sinó solament una fracció, que depèn d'una banda de les lleis de la natura i de l'altra de l'estat de la tecnologia disponible per poder-la convertir en energia útil, els autors citats consideren un Potencial Eòlic tècnicament utilitzable de 220 TWh/any.

$$PTU = 220 \text{ TWh/any}$$

A més a més, si s'introdueixen els costos econòmics que fan justificable la utilització de l'energia eòlica en comparació a altres fonts d'energia, l'equip alemany creu que en una primera etapa el Potencial Eòlic econòmicament utilitzable és un 10 % de l'anterior.

$$PEU = 22 \text{ TWh/any}$$

Seguint aquest mateix tipus de deducció per al cas de Catalunya, acceptant les mateixes bases a partir de les quals s'ha realitzat l'avaluació del Potencial Eòlic a la República Federal Alemanya, es pot afirmar que:

- el Potencial Eòlic Teòric Català seria de 1931,79 TWh/any;
- el Potencial Eòlic Tècnicament utilitzable seria de 28,3 TWh/any.
- el Potencial Eòlic Econòmicament utilitzable seria de 2,8 TWh/any.

Per tenir una idea de l'ordre de magnitud, cal saber que avui a Catalunya s'utilitza un Potencial Hidràulic de l'ordre dels 5,3 TWh/any (SEGARRA, P., i ALARIO, J., 1981).

2.19.2 Segons el mètode emprat per l'INI

En una publicació del Programa solar de l'Institut Nacional d'Indústria (CARDONA, J. L., 1981) es realitza una estimació de la Potència Elèctrica d'Origen Eòlic que podria instal·lar-se a l'Estat Espanyol.

Es parteix del Mapa Eòlic de l'Estat Espanyol realitzat per l'extingida Comisión Nacional de Energías Especiales (BARASOAIN, J. A., FONTÁN, L., 1955 i 1961) i d'un mapa de potències eòliques mitjanes (SÁNCHEZ TARIFA, C., 1980). Estima la superfície total de l'Estat Espanyol en què la velocitat del vent pot ser superior a 5 m/s (35.000 km²). Suposa que la superfície útil per a instal·lar-hi

aerogeneradors es de l'ordre de 10 % de l'anterior i que els aerogeneradors se situen en els vèrtexs d'una quadrícula, que té el costat igual a 10 vegades el diàmetre de l'àrea escombrada per les pales. Suposa també que la potència mitjana dels aerogeneradors és de 0,35 kW per metre quadrat d'àrea escombrada.

Amb aquestes hipòtesis arriba a la conclusió que la potència elèctrica d'origen eòlic que es podria instal·lar a l'Estat Espanyol seria de:

$$PEE = 9.625 \times 10^6 \text{ kW} = 9.625 \text{ MW}$$

Considerant que en les zones d'estudi la velocitat mitjana del vent és de 6 m/s, i que la velocitat nominal de l'aerogenerador és aproximadament de 10 m/s, es pot dir que el temps de funcionament dels aerogeneradors en què funcionarien a potència nominal és del 25 % (unes 2.200 hores). Aleshores l'energia produïda per una xarxa d'aerogeneradors amb una potència instal·lada de 9.625 MW seria de 21.175 TWh/any.

Amb aquest mateix mètode de càlcul i a partir del primer Mapa Eòlic Català realitzat (MESEGUER, C., 1978) es pot fer una estimació, suposant que les comarques de l'Alt i Baix Empordà, el Maresme, el Garraf, el Baix Camp, la Ribera, el Montsià i el Baix Ebre tenen velocitats mitjanes de vent superiors a 5 m/s.

Seguint les mateixes hipòtesis s'obté una superfície a ocupar per aerogeneradors de 585,7 km² (l'1,8 % de la superfície total de Catalunya) i una superfície escombrada per les pales dels aerogeneradors de 4,6 km². Això representaria una potència instal·lable de 1.610 MW.

$$PEE = 1.610 \text{ MW.}$$

Suposant les mateixes condicions de funcionament que en el cas espanyol (2.200 hores), s'obté una energia produïda de 3,55 TWh/any.

2.19.3 *Primera valoració eòlica catalana*

A partir de les dades del Centro Meteorológico Zonal del Pirineo Oriental, es va elaborar (MESEGUER, C., 1978) el primer Mapa Eòlic de Catalunya. Aquest Mapa definia ja clarament unes àrees que podien tenir una potencialitat eòlica elevada, encara que, per exemple, a l'Alt Empordà (zona del Cap de Creus) la potència per unitat de superfície escombrada per les pales era molt més baixa que la donada pel Mapa Francès elaborat els anys cinquanta.

Aquest Mapa ja va estar situat en els seus límits justos en un treball (MESEGUER, C., OLIVA, A., PUIG, J., 1979) que plantejava les directrius del que havia

de ser un Pla per al Desenvolupament de l'Energia Eòlica a Catalunya. Allí es podia llegir:

No obstant, la major part d'estacions existents avui estan dedicades a la meteorologia i no serveixen per a fer una valoració seriosa i profunda dels recursos energètics que el vent pot aportar a casa nostra. Poden servir, com a molt, per a fer una primera valoració del potencial eòlic a Catalunya.

En aquest treball citat ja es feia una primera estimació de la quantitat d'energia que produirien uns Sistemes Conversors d'Energia Eòlica, instal·lats en 24 emplaçaments eòlicament favorables. Representaven una potència eòlica instal·lada de 16,6 MW i tenien una producció de 37.153 GWh/any. La potència instal·lada a cada emplaçament oscil·lava entre 500 i 1.000 kW.

Aquesta primera valoració es pot extrapolar avui, quan hom disposa dels resultats de l'Enquesta als Municipis Catalans (PUIG, J. i MESEGUER, C., 1982) realitzada durant els treballs previs per a la confecció del Mapa Eòlic Català. Aquesta enquesta va donar el resultat d'uns 700 emplaçaments eòlicament favorables a Catalunya. D'ells n'hi ha 103 situats en municipis que segons el «saber popular» són *molt ventosos* i uns 364 en llocs *bastant ventosos*.

Realitzant doncs aquesta extrapolaració, a partir del treball on es fa la primera estimació de potència eòlica a Catalunya, hom obté el resultat següent:

Nombre d'emplaçaments:	103
Potència instal·lada:	71,24 MW
Energia produïda:	156,73 GWh
Nombre d'emplaçaments:	364
Potència instal·lada:	251,77 MW
Energia produïda:	553,89 GWh

2.20 És possible quantificar el potencial eòlic català?

Tota la problemàtica expressada anteriorment referent a les dades eòliques disponibles a l'actualitat, va impulsar-me a emprar les dades procedents de l'enquesta als municipis (PUIG, J. i MESEGUER, C., 1981), ja que són bastant coherents amb els resultats del primer intent de valoració realitzat (MESEGUER, C., 1978) a partir de dades del INM.

Doncs bé, l'objectiu del treball que aquí presentem és l'elaboració d'un model

que, partint d'unes dades que poden ser el reflex dels coneixements populars sobre el vent, ens permet de determinar el potencial eòlic de Catalunya, municipi per municipi.

3.0 LA TECNOLOGIA PER APROFITAR LA FORÇA DEL VENT. ELECCIÓ DELS SISTEMES CONVERSORS D'ENERGIA EÒLICA

S'han elegit dos Sistemes Conversors que seran emprats com de referència en el model que es proposa per a avaluar el potencial eòlic del país.

El primer pot ser qualificat de petita potència i el segon es pot qualificar de potència mitjana.

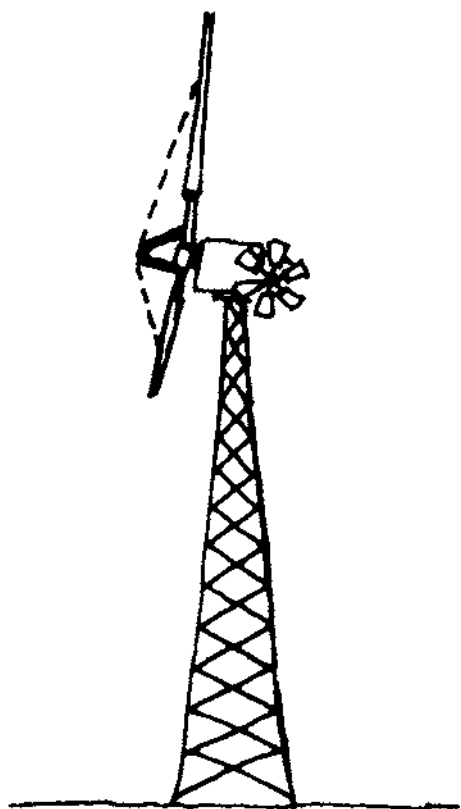
Ambdós es basen en Sistemes prèviament i àmpliament provats en un país, de dimensions semblants (una mica més gran i una mica menys poblat) al nostre.

Quant al SCEE de petita potència és un disseny semblant als emprats àmpliament i majoritàriament a Dinamarca, país on hi ha un molí de vent per a cada 10.000 persones, totalitzant cap a 500 molins de vent (OVE., 1981; Ministry of Energy, 1981).

Hom pot fer-se una idea de la maduresa de la tecnologia utilitzada en la construcció d'aquests Sistemes Conversors d'Energia Eòlica (gràfic I) quan es publica normalment la producció energètica setmanal (i acumulada des de la instal·lació) d'origen eòlic de més d'una cinquantena de Sistemes, compresos entre potències de 4 kW i 55 kW, interconnectats amb la xarxa de distribució elèctrica; en observar que s'havien produït 8.941.339 kWh fins a finals del mes de maig de l'any 1981 (DANSKE VINDKRAFT-VAERKER, 1981); que a Dinamarca hi ha una quarantena de fabricants de SCEE i que existeix una Associació de plantes eòliques de producció d'energia que té més de 1.400 membres (OVE, 1981). Cal dir que aquesta cinquantena de SCEE citats han estat instal·lats a partir de l'any 1976.

Quant al SCEE de potència mitjana es basa en el disseny de J. Juul (foto I), utilitzat a Gedser on la SEAS (Sydostsjaellands Elektricitets Aktieselskab) i el DEF (Danske Elvaerkeres Forening) el van construir l'any 1957 i funcionà ininterrompudament, de manera automàtica, sense gaires dificultats mecàniques entre els anys 1958 i 1967. Posteriorment, entre els mesos de juny de 1978 i l'abril de 1979 va ser posat en funcionament una altra vegada, en un programa conjunt entre els Departaments d'Energia Danès i Nord-americà, amb 87 sensors, i foren estudiades detalladament les seves característiques (LUNDSAGER, P.; FRANDSEN, S.; CHRISTENSEN, C.J., 1980).

Aquest SCEE ha servit de base per el desenvolupament dels programes eòlics d'alguns països.

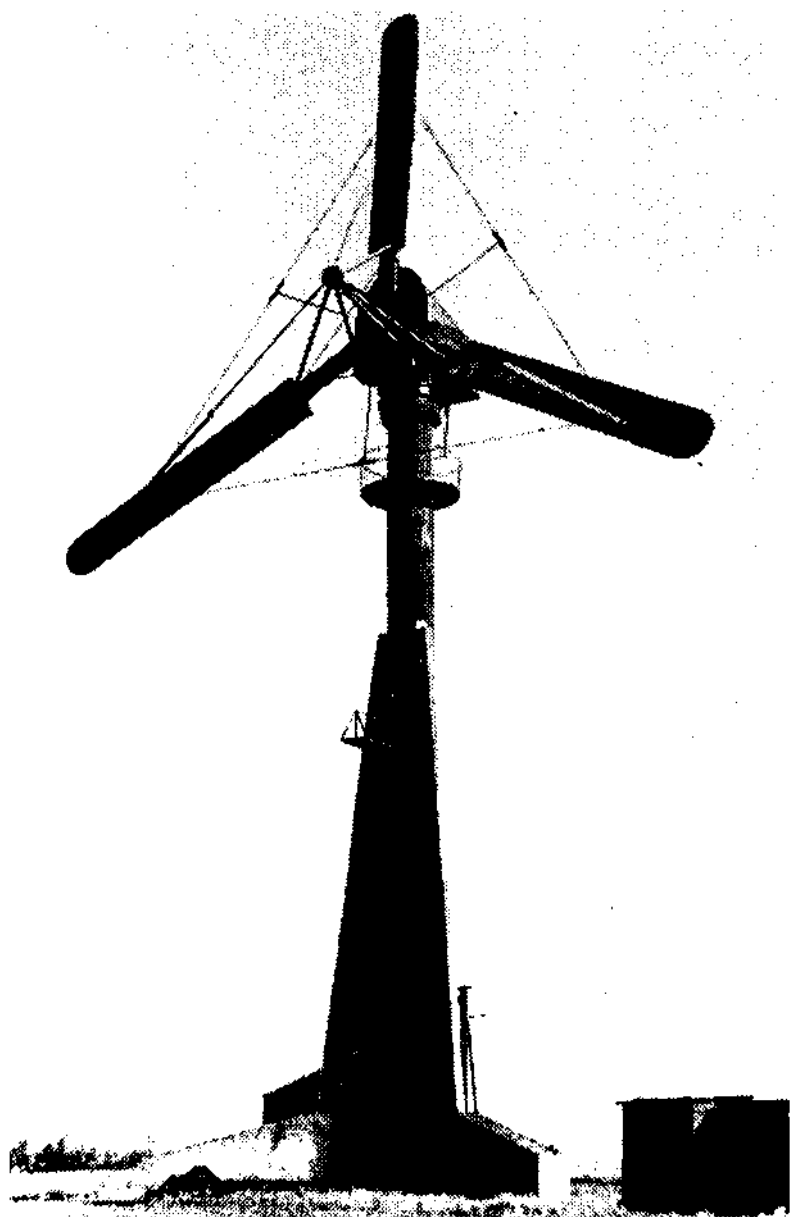


Gràfic 1. Sistema Conversor d'Energia Eòlica (SCEE) de petita potència.

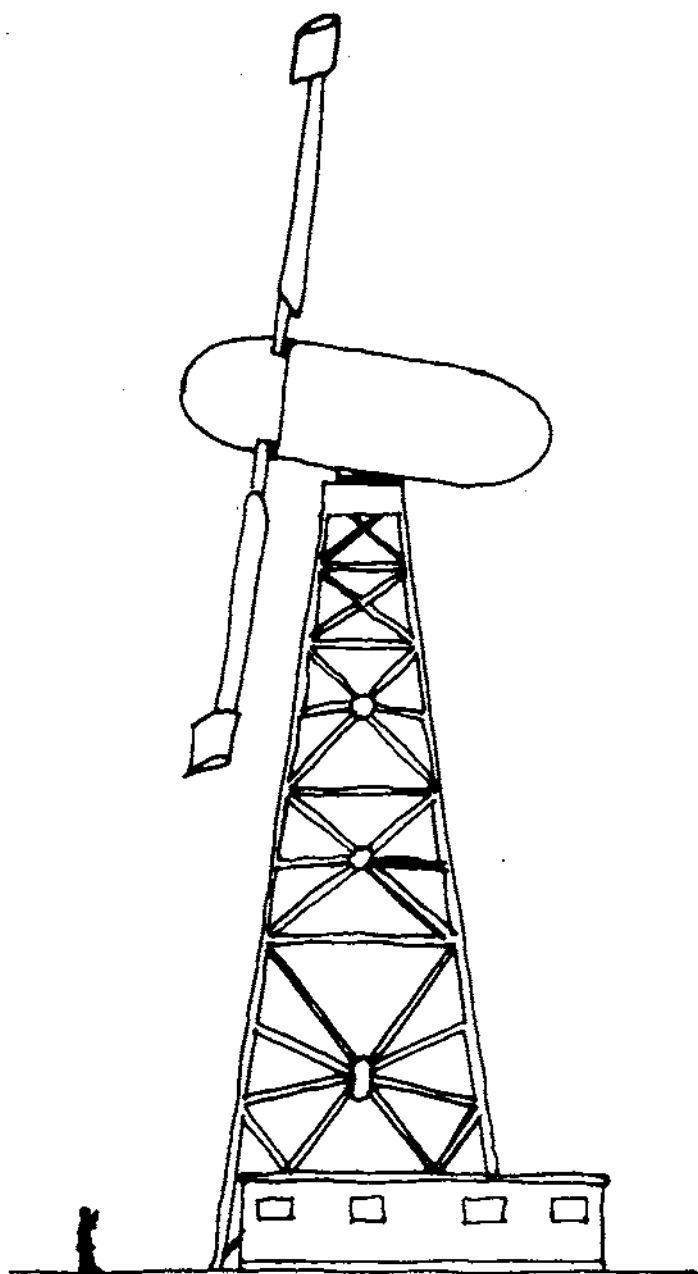
Actualment hi ha vuit SCEE en funcionament (6 als EUA, un al Canadà, i un al Regne Unit) subministrant normalment energia elèctrica, que es basen en el disseny realitzat per J. Juul, si bé amb millores tecnològiques de l'època actual. Aquests artefactes són comercialitzats amb el nom de MP-200 (gràfic II).

4.0 ELABORACIÓ I APLICACIÓ DEL MODEL

A continuació es descriuren les línies mestres de com s'ha procedit a elaborar el Model per a valorar el Potencial Eòlic de Catalunya, les seves comarques i cadascun dels seus municipis.



Fotografia 1. Aerogenerador de Gedser (Dinamarca), de 24 m de diâmetro e 200 kW de potência.



Gràfic II. Sistema Conversor d'Energia Eòlica (SCEE) de potència mitjana.

També s'explica la forma com s'ha procedit a aplicar-lo a cadascuna de les entitats territorials del país.

Per implementar el model matemàtic s'han elaborat un seguit de programes d'ordinador. En síntesi aquests programes de càlcul permeten:

- determinar la funció de densitat de probabilitat de la velocitat del vent en un lloc donat;
- determinar les característiques d'un Sistema Conversor d'Energia Eòlica, fonamentalment la seva funció de potència;
- calcular el temps de funcionament en cada règim específic del Sistema Conversor, així com l'energia produïda en cadascun d'ells;
- calcular el nombre de SCEE que es poden ubicar en una superfície donada, suposant una determinada estructura geomètrica de disposició i una separació fixada entre cada Sistema Conversor;
- calcular el potencial eòlic de tots i cadascun dels municipis de Catalunya, les seves comarques i del país sencer.

4.1 Bases de partença

Hom podia haver partit de les dades eòliques (velocitats i direccions del vent) registrades per l'Institut Nacional de Meteorologia, o registrades per altres institucions.

He rebutjat el seu ús per diverses raons. La primera és que em mereixen una gran desconfiança, pel fet de conèixer quins aparells s'utilitzen, com els empen i quina metodologia fan servir.

Un segon motiu ha estat el fet que actualment i en el marc del treball «Estudis previs i de definició dels equips necessaris per a la confecció de l'Atlas Eòlic de Catalunya» (PUIG, J. i MESEGUER, C., 1982), ja s'està realitzant la tasca de valoració de les dades eòliques disponibles avui a Catalunya.

En tercer lloc perquè personalment he considerat més suggestiu treballar amb unes dades que podien ser considerades com el reflex de la cultura eòlica que avui tenim a Catalunya. Són les dades obtingudes en l'Enquesta als Municipis Catalans (PUIG, J. i MESEGUER, C., 1982), realitzada dins el marc del treball citat abans.

Sóc conscient que aquestes dades poden distorsionar la realitat, però crec que no la distorsionen pas més que si hom hagués treballat amb les dades mesurades amb els aparells de mesura i registre avui disponibles.

Una de les preguntes que es feien en l'Enquesta era «quant vent feia en el Municipi». Qui responia podia triar entre les cinc opcions següents:

Comarca	CVEN	CVE	NM	NR	PER%	RV
Baix Llobregat	3.25	2.5	27	15	55.5	14
Barcelonès	1.75	1.0	7	4	57.1	2
Maresme	3.38	3.0	30	14	46.7	13
Vallès Occid.	3.28	2.5	23	12	52.2	12
Vallès Orien.	3.08	2.5	41	20	48.8	20
Alt Empordà	4.55	4.0	68	40	58.8	40
Baix Empordà	4.17	3.5	36	24	66.7	23
Garrotxa	3.04	2.5	21	14	66.7	14
Gironès	3.71	3.0	36	19	52.8	17
Selva	3.29	2.5	25	14	56.0	14
Alt Camp	4.33	4.0	23	12	52.2	12
Alt Penedès	3.71	3.0	25	14	56.0	14
Baix Penedès	4.00	3.5	12	7	58.3	7
Garraf	4.00	3.5	8	2	25.0	2
Tarragonès	3.42	3.0	22	13	59.1	13
Baix Camp	4.50	4.0	27	20	74.1	20
Conca Barberà	3.79	3.0	21	12	57.1	12
Priorat	3.74	3.0	24	17	70.8	17
Ribera d'Ebre	4.00	3.5	14	10	71.4	10
Baix Ebre	4.83	4.0	13	11	84.6	11
Montsià	4.34	3.5	11	8	72.7	8
Terra Alta	4.38	3.5	12	8	66.7	8
Cerdanya	3.20	2.5	16	5	31.3	5
Osona	2.91	2.5	47	23	48.9	23
Ripollès	3.15	3.1	24	13	54.2	13
Anoia	3.59	3.0	34	17	50.0	17
Bages	3.38	3.0	35	20	57.1	19
Berguedà	3.20	2.5	30	5	16.7	5
Solsonès	3.64	3.0	14	11	78.6	11
Garrigues	3.59	3.0	25	17	68.0	17
Noguera	3.50	3.0	35	17	48.6	17
Segarra	3.71	3.0	21	7	33.3	7
Segrià	3.54	3.0	42	28	66.7	28
Urgell	3.50	3.0	26	17	65.4	16
Alt Urgell	3.67	3.0	19	3	15.8	3
Pallars Jussà	3.40	3.0	17	10	58.8	10
Pallars Sobirà	3.58	3.0	15	6	40.0	6
Vall d'Aràn	3.50	3.0	9	4	44.4	4

CVEN : codi vent segons l'enquesta
 CVE : codi vent suposat pels municipis que no
 han contestat l'enquesta
 NM : nombre municipis enquestats
 NR : nombre municipis que han contestat
 PER% : percentatge de respostes sobre total comarcal
 RV : nombre respostes vàlides

Taula I. Taula de Codis de Vent Comarcals.

5. Molt vent
4. Bastant vent
3. Poc vent
2. Molt poc vent
1. No en fa gens

Com es pot veure, cada resposta tenia associat un codi numèric, de l'1 al 5. Es pot observar que el Codi mig correspon a «Poc vent», triat expressament per evitar sobreestimacions massa optimistes.

Els resultats de l'Enquesta estan detallats en la Taula I, en la qual hom té el Codi de Vent Mig en la Comarca, corresponent als municipis que efectivament han contestat l'Enquesta i el Codi de Vent que s'ha utilitzat pels municipis que no l'han contestada, el qual és sempre inferior al Codi Mig de Vent Comarcal corresponent. A més a més, hi ha informació referent al nombre de municipis enquestats, de respostes rebudes i de respostes vàlides.

Per fer més real l'estimació de la distribució de freqüències de la velocitat del vent, calculada a partir del Codi de Vent corresponent, hom ha corregit les distribucions obtingudes decremant de l'àrea total, compresa entre la corba i l'eix d'abscisses, un percentatge determinat de calmes.

He escollit un 40 % de calmes per a tots els municipis considerant-ho una xifra raonable, ja que l'única informació de què es disposa és a partir de les dades mesurades. Un treball realitzat (MESEGUER, C., 1978) sobre les dades disponibles al INM, dona uns percentatges de calma, per diverses estacions de mesura compresos entre l'1 % i 44 %.

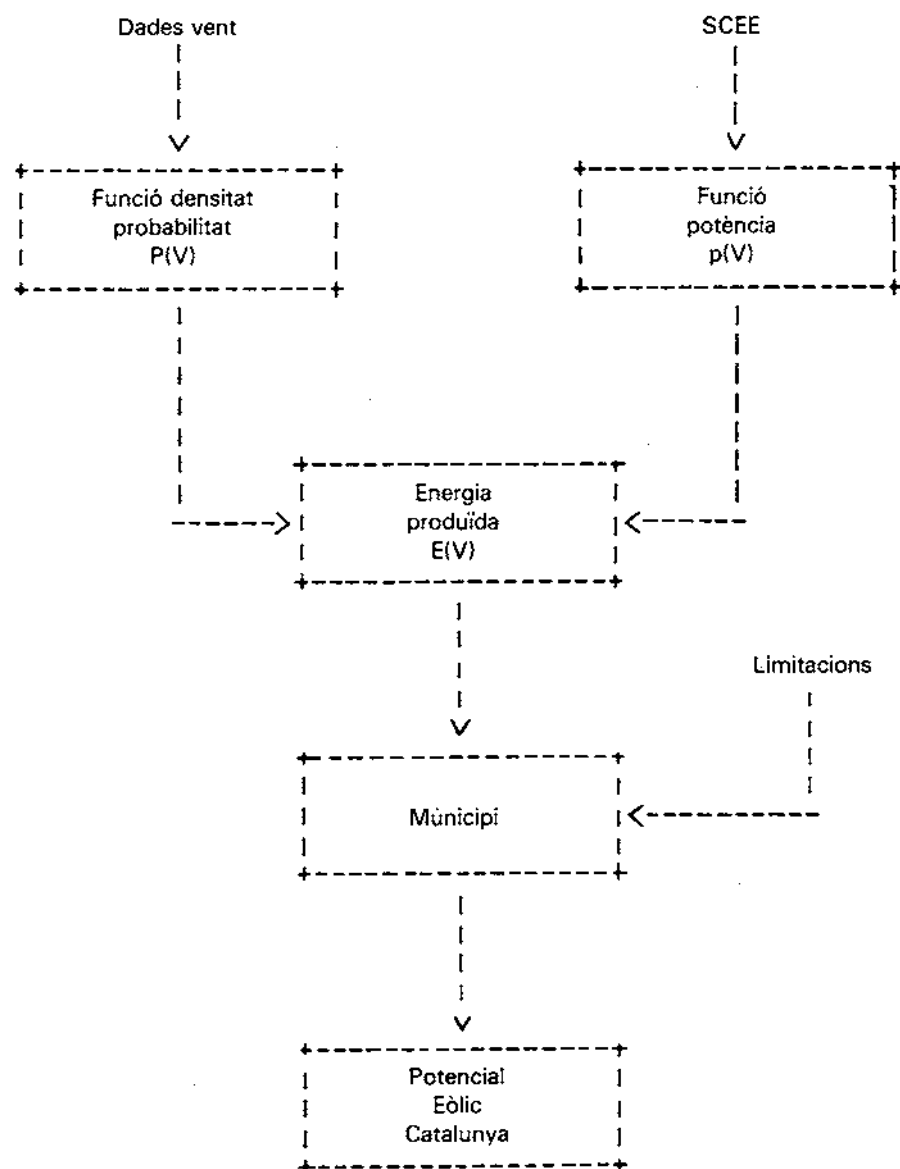
El fet d'escollir una xifra elevada ha estat per introduir un element més en el model i que aquest element fos conservador.

A més a més del Codi de Vent i del percentatge de calmes, com que la base espacial triada va ser la municipal, he utilitzat la Superfície dels Municipis de Catalunya.

Amb aquestes dades i les corresponents a la codificació de la Regió, Comarca i municipi, he configurat una Base de dades, que l'anomeno «Base de Dades Municipal», que conté informació sobre la Regió, la Comarca, el Municipi, la seva superfície, el codi de vent i les calmes.

4.2 Esquematzació del model

El model present, l'esquema del qual es pot veure en el gràfic III, parteix de la coneixença d'unes dades de vent determinades (en el nostre cas el Codi Municipal de Vent), de la utilització d'uns Sistemes Convertors d'Energia Eòlica do-



Gràfic III. Esquema del Model.

nats (un de 12 metres de diàmetre i l'altre de 24) i de la imposició d'unes limitacions pel que fa a la capacitat d'un territori de contenir un nombre de SCEE determinat.

A partir del Codi Municipal de Vent s'estima la Funció de Densitat de Probabilitat de la velocitat del vent (distribució de Weibull) en el municipi en qüestió.

En base als SCEE escollits es calculen les respectives Funcions de Potència, adaptades a la distribució de vent corresponent al municipi on s'ubicarien els Sistemes Conversors.

Conegudes ambdues funcions, es determina el temps de funcionament dels SCEE, en el règim de vent determinat i l'energia produïda per ells.

Les limitacions que m'he imposat fan referència a la superfície a utilitzar per ubicar-hi els Sistemes Conversors (10 % de la superfície municipal), la distància de separació entre ells (10 vegades el diàmetre) i la disposició que adoptaran dins la superfície utilitzada (malla triangular).

4.3 Descripció del programa de càlcul del potencial eòlic de Catalunya

S'ha confeccionat un Programa de Càlcul que, amb la informació bàsica de cada municipi, determina:

1) La funció densitat de probabilitat:

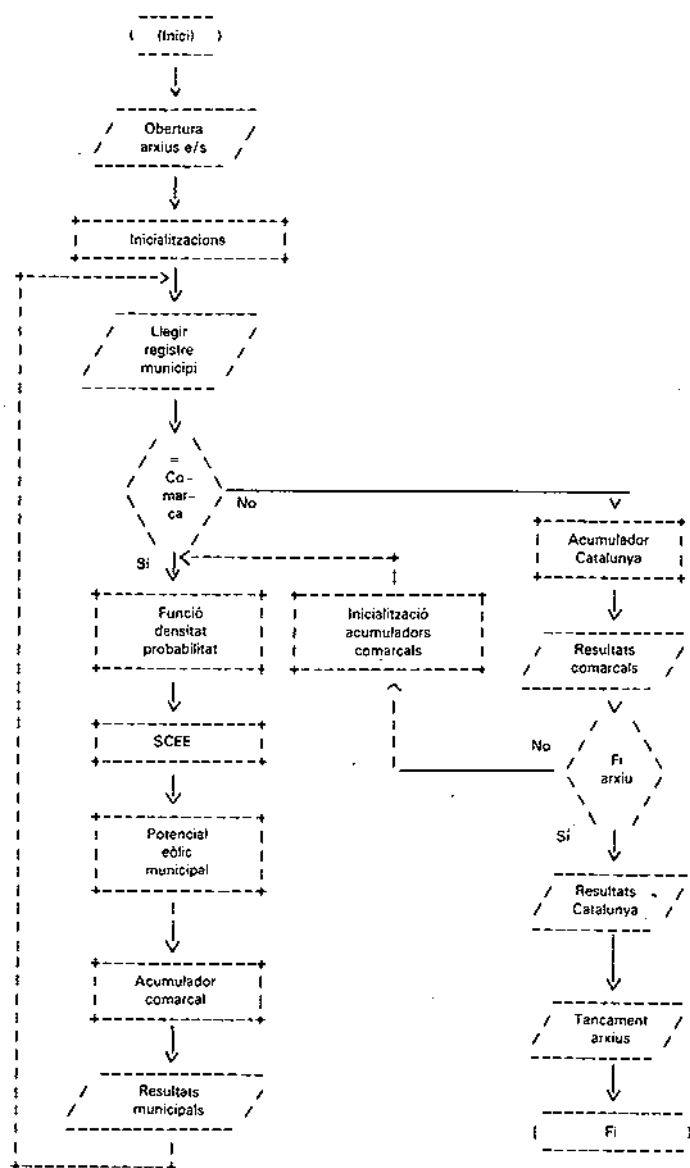
- els paràmetres de Weibull a 12 i 24 m d'altura,
- les velocitats més significatives.

2) La funció de la potència dels SCEE escollits:

- velocitats característiques,
- potència nominal,
- hores de funcionament en cada règim específic,
- energia produïble en cada règim de funcionament,
- energia anual produïble per cada SCEE,
- hores de funcionament anyals,
- hores sense funcionar.

3) Potencial eòlic del municipi:

- nombre de SCEE a utilitzar,
- energia total-anual produïble,
- potència total instal·lable.



Gràfic IV. Diagrama de Fluxe del Programa de Càlcul del Potencial Eòlic.

A més a més, fa les acumulacions respectives per a cada comarca i dóna:

- codi comarcal mig de vent;
- nombre total-comarcal de SCEE;
- potència total-comarcal instal·lable;
- energia anyal total-comarcal produïble,

és a dir, el Potencial eòlic Comarcal.

Els resultats comarcals també s'acumulen per poder donar, al final, el Potencial Eòlic de Catalunya.

Aquest Programa de Càlcul s'ha executat dues vegades, la primera suposant que s'emprava el SCEE de petita potència (12 m de diàmetre) i la segona suposant la utilització del SCEE de mitjana potència (24 m de diàmetre):

En el gràfic IV es pot veure el diagrama de flux simplificat del Programa de càlcul del Potencial Eòlic de Catalunya.

4.4 Perspectiva de futur en l'aplicació del model

Aquest model s'ha elaborat amb diferents objectius.

D'una banda, poder disposar d'una eina per valorar el Potencial Eòlic de Catalunya, partint dels coneixements que en aquest moment es tenen, i especialment els coneixements populars.

Aquesta eina, però, també pretén que sigui utilitzable per valorar els potencials eòlics de zones determinades quan es disposi de mesures dels paràmetres del vent, amb suficient garantia de fiabilitat.

No solament això, sinó que permet, a més a més, partir d'uns SCEE determinats, però que hom pot substituir per qualsevol altre SCEE del qual es coneguin algunes de les seves característiques.

Per aquestes raons és un model que resta obert al futur per a fer més precisa l'estimació del potencial d'una font d'energia renovable i dispersa com és el vent.

5.0 RESULTATS

Hom ha obtingut els resultats per a cada municipi, comarca i total de Catalunya, pels dos tipus de SCEE (de 12 i 24 m de diàmetre). Una mostra dels llistats es pot veure en la Taula II (corresponent a la comarca de l'Alt Empordà). Un resum dels resultats comarcals es dóna tot seguit en forma de taules (Taula III i Taula IV). Així, hom pot observar que 274.529 Sistemes Convertors d'Energia Eòlica de petita potència (diàmetre 12 m i potències nominals com-

REGIO II COMARCAL: EMPORDA

MUNICIPI	NOM	CARACTERISTIQUES										S.C.E.E.		SUP. UT	NOMBRE	POT. INS	ENERGIA
		VC	VN	VD	DIAM	PN	ENERGIA	DEL	M O R E S		ATUR						
		KM2	M/S	M/S	M	KW	KWH/ANY	CM			FUNC			KM2	SCEE	MW	SMW/ANY
AGULLANA		5.00	27.39	5.0	15.6	20.0	24	456	141651	3504	901	4355		2.7350	68	30.9747	9.6322
ALBANYA		3.00	93.34	5.0	11.4	20.0	24	178	94825	3504	2041	3215		9.3340	203	56.1723	19.2495
L'ARMENTERA		4.00	5.67	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		0.5670	18	5.1369	3.7249
AVINYONET DE PUIGVENTOS		5.00	12.36	5.0	15.6	20.0	24	456	141651	3504	901	4355		1.2360	27	12.2988	3.8286
BASCAR		4.00	17.28	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		0.9780	59	11.5589	4.8207
BIURE D'EMPORDA		4.00	9.97	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		0.9780	59	11.5589	4.8207
BOADELLA D'EMPORDA		4.00	10.75	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		1.0730	27	8.0023	3.3374
BORRASSA		4.00	9.36	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		0.9360	27	8.0023	3.3374
CABANELLES		4.00	14.92	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		4.4920	105	31.1202	12.9788
CABANES		4.00	15.01	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		1.5070	39	11.5589	4.8207
CADARUS		5.00	26.58	5.0	15.6	20.0	24	456	141651	3504	901	4355		2.5730	68	30.9747	9.6322
CAMPANY		4.00	26.58	5.0	15.6	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		2.6580	68	20.1541	8.4053
CANTALLOPS		4.00	19.62	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		1.9620	52	15.4119	6.4276
CASTELLO D'EMPORIES		4.00	41.84	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		4.1840	105	31.1202	12.9788
CASTELLA		4.00	25.56	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		2.5560	68	20.1541	8.4053
COLERA		4.00	23.95	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		2.3950	52	15.4119	6.4276
DARNUS		4.00	34.79	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		3.4790	85	25.1926	10.5066
L'ESCALA		5.00	16.41	5.0	15.6	20.0	24	456	141651	3504	901	4355		1.6410	39	17.7649	5.5244
ESPOLLA		5.00	43.09	5.0	15.6	20.0	24	456	141651	3504	901	4355		4.5090	105	47.8285	14.8733
EL FAR D'EMPORDA		4.00	18.87	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		0.9070	27	12.2988	3.8286
FIGUERES		4.00	10.79	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		1.0790	27	8.0023	3.3374
FORÇA		5.00	19.49	5.0	15.6	20.0	24	456	141651	3504	901	4355		1.9490	52	23.6865	7.3658
GARRIGAS		5.00	20.97	5.0	15.6	20.0	24	456	141651	3504	901	4355		2.0970	52	23.6865	7.3658
GARRIGUELLA		4.00	56.90	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		5.6900	126	37.3643	15.5746
LA JONQUERA		5.00	28.01	5.0	13.5	20.0	24	456	141651	3504	901	4355		2.8010	68	30.9747	9.6322
LLANCA		4.00	13.59	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		1.3590	39	11.5589	4.8207
LLEDO		4.00	21.21	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		2.1210	52	15.4119	6.4276
MACANET DE CABRENYES		4.00	67.46	5.0	15.6	20.0	24	456	141651	3504	1370	3886		6.7460	150	44.4575	18.5411
MASARAC		5.00	12.46	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		1.2460	27	8.0023	3.3374
MOLLET D'EMPORDA		4.00	3.34	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		0.3340	10	2.5638	1.2261
NAVATA		4.00	23.20	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		2.3200	52	15.4119	6.4276
OBIS		4.00	8.69	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		0.8620	27	8.0023	3.3374
PALAU DE STA. EULALIA		4.00	8.62	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		0.8620	27	8.0023	3.3374
PALAU-SAVADORA		5.00	10.44	5.0	15.6	20.0	24	456	141651	3504	901	4355		1.0440	39	17.7649	5.5244
PAU		5.00	8.51	5.0	15.6	20.0	24	456	141651	3504	901	4355		0.8510	27	12.2988	3.8286
PERALADA		5.00	43.81	5.0	15.6	20.0	24	456	141651	3504	901	4355		4.3810	105	47.8285	14.8733
PONT DE MOLINS		4.00	8.53	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		0.8530	27	8.0023	3.3374
PONTOS		4.00	13.54	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		1.3540	39	11.5589	4.8207
PORTBOU		5.00	9.30	5.0	15.6	20.0	24	456	141651	3504	901	4355		0.9300	27	12.2988	3.8286
PORT DE LA SELVA		4.00	41.30	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		4.1300	105	31.1202	12.9788
RABOS D'EMPORDA		4.00	45.06	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		4.5060	105	31.1202	12.9788
RUMORS		4.00	6.46	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886		0.6460	18	5.1369	3.7249
ROSES		5.00	45.87	5.0	15.6	20.0	24	456	141651	3504	901	4355		4.5870	105	47.8285	14.8733

REGIO II COMARCA:ALT EMPORDA (continuació)

MUNICIPI	NOM	C A R A C T E R I S T I Q U E S DEL										S.C.E.E.	SUP.UT	NOMBRE	POT.INS	ENERGIA
		CODI	SUPERF	VC	VM	VD	DIAM	PN	ENERGIA	CALM	ATUR					
		VENT	KM2	M/S	M/S	M/S	M	KM	KWH/ANY	M O R E S	F U N C		KM2	SCEE	MW	GWH/ANY
ST. CLIMENT	SESCERES	5.00	24.46	5.0	15.6	20.0	24	436	141651	3504	901	4355	2.4440	68	30.9747	9.6322
ST. LORENÇ	DE LA HUGA	3.00	32.06	5.0	11.6	20.0	24	178	94825	3504	2041	3215	3.2060	85	15.1461	8.0601
ST. MIGUEL	DE FLUVIA	4.00	8.52	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886	0.8520	27	8.0023	3.3374
ST. MOI		4.00	7.44	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886	0.7440	18	5.3349	2.3249
ST. PERE	PESCADOR	4.00	17.80	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886	1.7800	39	11.5589	4.8207
ST. ALLOGAIA	D'ALGUERA	5.00	1.97	5.0	15.6	20.0	24	436	141651	3504	901	4355	0.1970	5	2.2775	0.7083
SAUS-CALLERA		4.00	11.63	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886	1.1630	27	8.0023	3.3374
LA SELVA	DE MAR	5.00	7.08	5.0	15.6	20.0	24	436	141651	3504	901	4355	0.7080	18	8.1992	2.5697
SIURANA	D'EMPORDA	4.00	10.50	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886	1.0500	27	8.0023	3.3374
TERRADES		4.00	20.80	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886	2.0800	52	15.4119	6.6276
TORRELLA	DE FLUVIA	4.00	16.73	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886	1.6730	39	11.5589	4.8207
LA VAYON		5.00	4.74	5.0	15.6	20.0	24	436	141651	3504	901	4355	0.4760	18	8.1992	2.5697
VENTALLÓ		4.00	26.14	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886	2.6140	48	20.1541	8.4053
VILABENTAN		5.00	2.29	5.0	15.6	20.0	24	436	141651	3504	901	4355	0.2290	10	4.5551	1.4165
VILADAMAT		4.00	11.79	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886	1.1900	27	8.0023	3.3374
VILAFANT		4.00	8.23	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886	0.8230	27	8.0023	3.3374
VILAJUIGA		5.00	3.16	5.0	15.6	20.0	24	436	141651	3504	901	4355	1.3140	39	17.7649	5.5246
VILANACOLM		4.00	5.49	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886	0.5490	18	5.3349	2.3249
VILANALLA		5.00	6.18	5.0	15.6	20.0	24	436	141651	3504	901	4355	0.6180	18	8.1992	2.5697
VILANANISCLE		4.00	5.40	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886	0.5400	18	5.3349	2.3249
VILANANT		4.00	12.14	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886	1.2140	27	8.0023	3.3374
VILA-SACRA		5.00	6.19	5.0	15.6	20.0	24	436	141651	3504	901	4355	0.6190	18	8.1992	2.5697
VILUR		4.00	5.56	5.0	13.5	20.0	24	296	123608	3504	1370	3886	0.5560	18	5.3349	2.3249

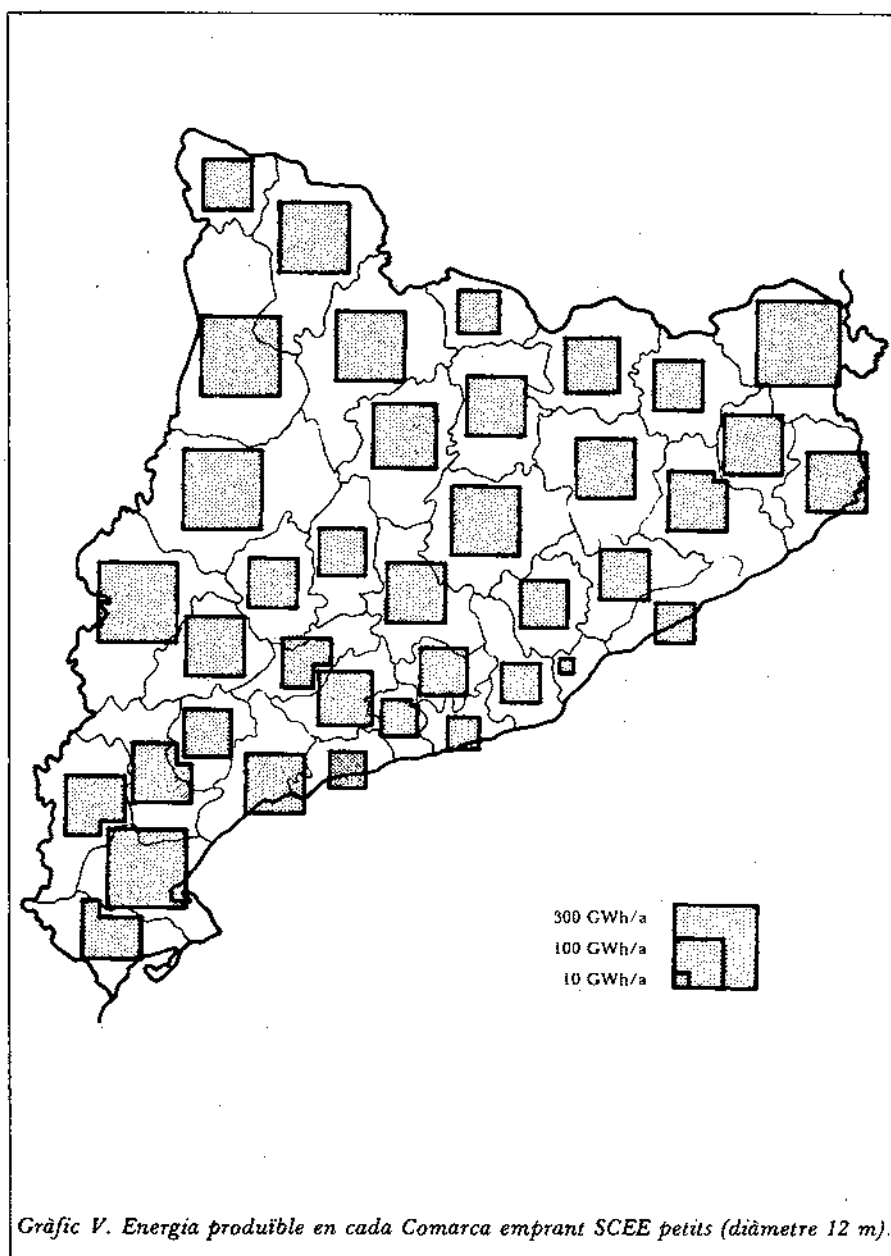
Taula II. Resultats del Model per a la Comarca del Alt Empordà.

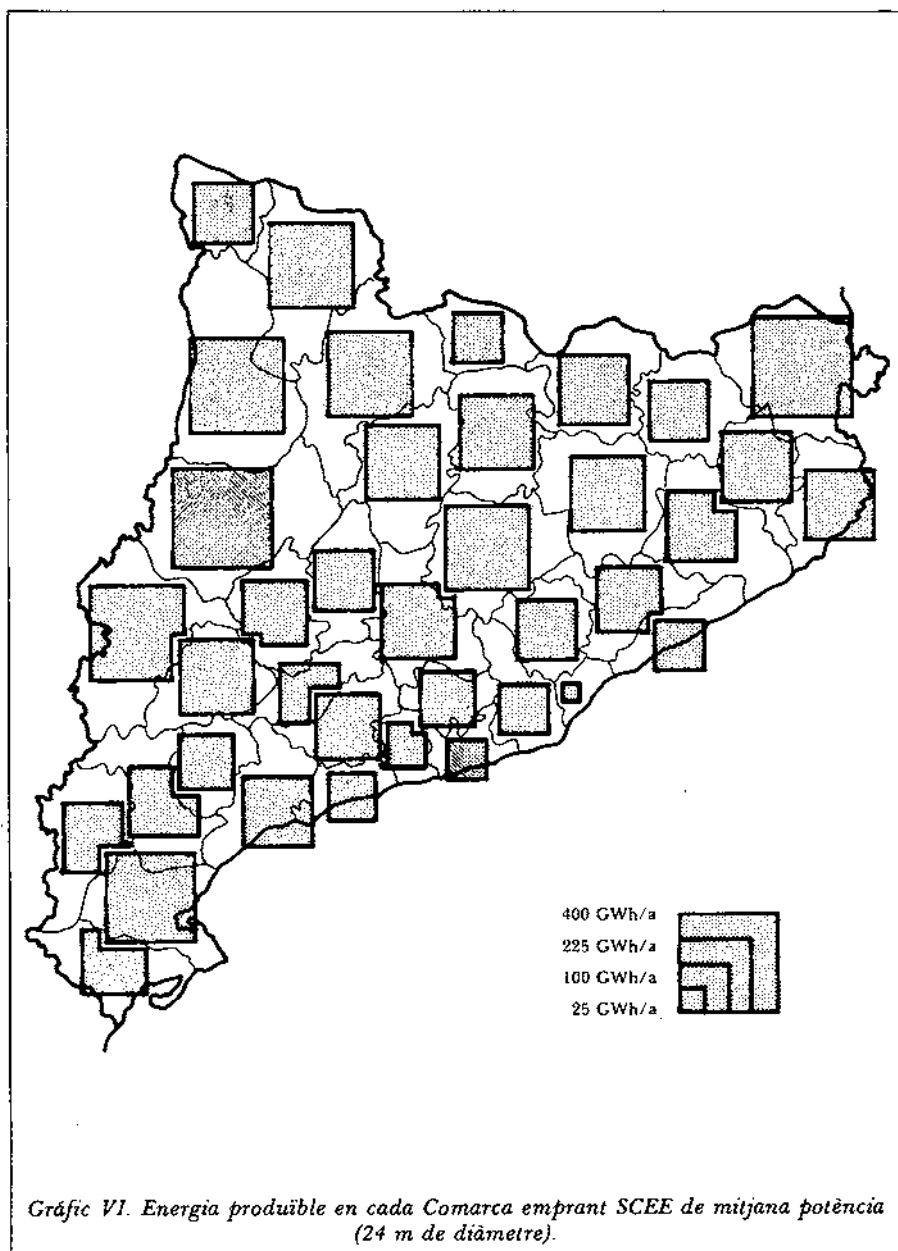
COMARCA	CMV	NSCEE unitats	POT. MW	ENERGIA GWh/any
<hr/>				
Baix Llobregat	2.89	4146	114.5	66.1
Barcelonès	1.21	1431	11.9	8.8
Maresme	3.17	3646	112.6	63.5
Vallès Occ.	2.91	5477	162.9	91.5
Vallès Ori.	2.78	7400	193.1	113.5
<hr/>				
Alt Emp.	4.32	11986	663.9	309.9
Baix Emp.	3.93	6260	290.0	147.8
Garrotxa	2.86	6064	156.6	92.5
Gironès	3.33	7398	252.7	138.2
Selva	2.94	8399	232.1	133.3
<hr/>				
Alt Camp	3.93	5079	260.3	126.1
Alt Penedès	3.4	4703	175.8	92.8
Baix Penedès	3.79	2358	106.5	55.4
Garraf	3.63	2150	85.7	46.8
Tarragonès	3.25	3033	111.4	59.9
<hr/>				
Baix Camp	4.37	5950	350.2	160.5
Conca Barberà	3.45	5400	199.2	106.5
Priorat	3.48	4541	172.3	92.1
Ribera d'Ebre	3.86	6851	290.7	154.4
<hr/>				
Baix Ebre	4.69	8733	625.9	261.9
Montsià	4.11	5626	320.0	147.1
Terra Alta	4.08	6272	330.5	158.6
<hr/>				
Cerdanya	2.72	4763	120.9	71.4
Osona	2.70	10513	257.7	153.1
Ripollès	2.85	8152	225.0	129.8
<hr/>				
Anoia	3.29	7872	287.2	154.3
Bages	3.2	11249	388.9	212.6
Borguedà	2.62	10377	254.8	147.8
Solsonès	3.5	8377	329.7	171.8
<hr/>				
Garrigues	3.4	7702	277.7	150.2
Noguera	3.24	15675	487.9	275.4
Segarra	3.24	5205	106.8	93.1
Segrià	3.36	13497	475.6	257.4
Urgell	3.31	5809	209.8	114.4
<hr/>				
Alt Urgell	3.11	11852	381.7	212.7
Pallars Jussà	3.24	13817	487.2	262.7
Pallars Sobirà	3.23	11533	355.0	197.8
Vall d'Aràn	3.22	5233	187.9	101.7
<hr/>				
TOTAL		274529	10113	5333.6

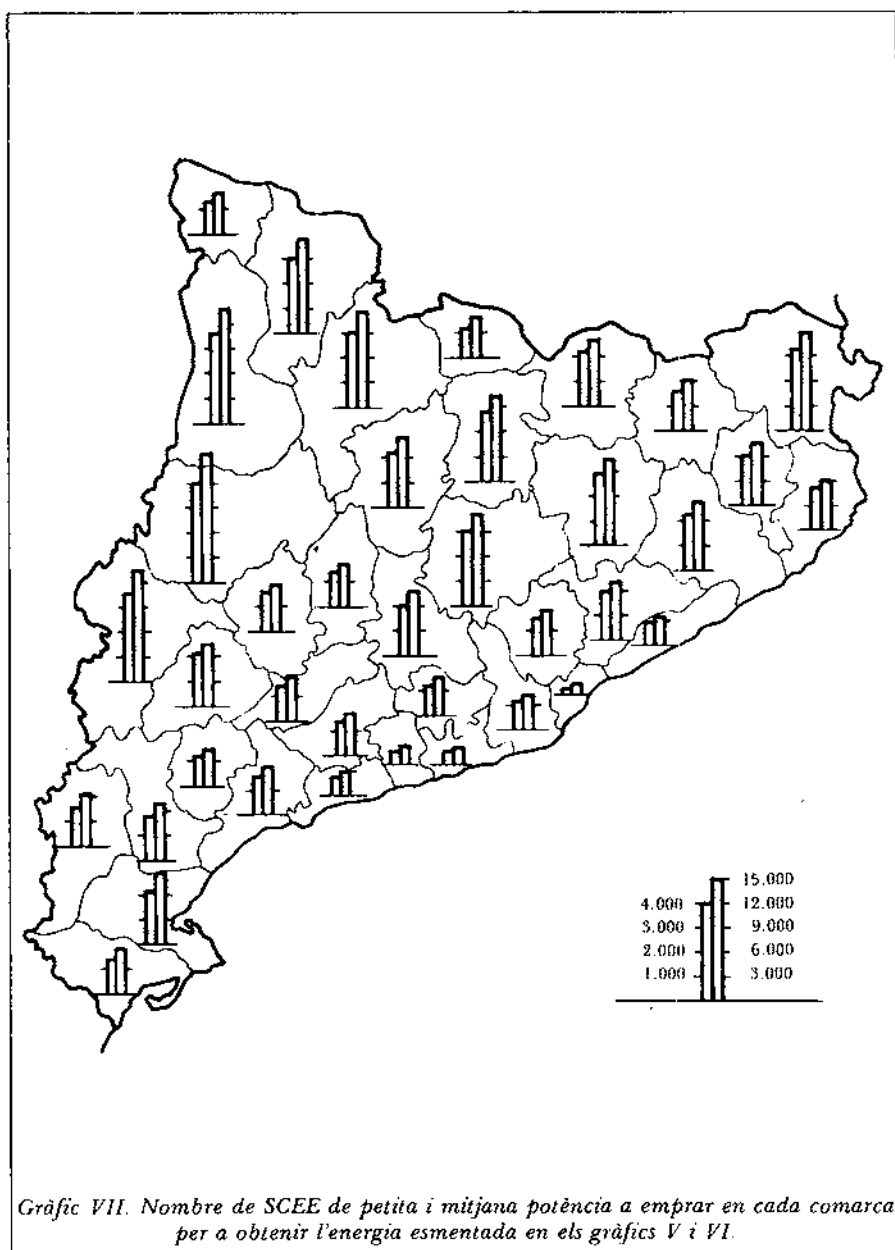
Taula III. Resultats del Model per a totes les Comarques de Catalunya amb SCEE de petita potència.

COMARCA	CMV	NSCEE unitats	POT. MW	ENERGIA GWh/any
Baix Llobregat	2.89	1177	204.6	106.1
Barcelonès	1.21	371	20.5	13.9
Maresme	3.17	1004	194.9	99.1
Vallès Occ.	2.91	1491	277.9	138.5
Vallès Ori.	2.78	2043	338.0	179.5
Alt Empordà	4.32	3345	1125.6	424.3
Baix Empordà	3.93	1745	496.2	208.7
Garrotxa	2.86	1628	265.3	142.5
Gironès	3.33	2039	432.9	209.7
Selva	2.94	2268	393.0	201.6
Alt Camp	3.93	1387	432.6	170.3
Alt Penedès	3.4	1279	296.9	136.0
Baix Penedès	3.79	666	184.0	79.4
Garraf	3.63	594	146.0	66.9
Tarragonès	3.25	853	193.6	90.6
Baix Camp	4.37	1669	592.4	217.4
Conca Barberà	3.45	1487	339.9	158.5
Priorat	3.48	1257	294.7	136.5
Ribera d'Ebre	3.86	1857	484.3	214.4
Baix Ebre	4.69	2319	990.8	321.1
Montsià	4.11	1478	507.0	188.4
Terra Alta	4.08	1674	531.4	207.9
Cerdanya	2.71	1287	205.7	110.5
Osona	2.70	2892	447.0	241.4
Ripollès	2.85	2233	384.0	199.7
Anoia	3.29	2142	479.9	225.5
Bages	3.2	2995	644.4	311.0
Berguedà	2.62	2802	435.5	227.0
Solsonès	3.5	2238	544.8	243.8
Garrigues	3.4	2119	472.4	224.0
Noguera	3.24	4141	807.7	409.1
Segarra	3.24	1405	283.0	141.2
Segrià	3.36	3625	795.3	376.4
Urgell	3.31	1602	359.4	170.3
Alt Urgell	3.11	3077	618.9	309.0
Pallars Jussà	3.24	3647	793.7	378.2
Pallars Sobirà	3.23	3018	584.0	294.4
Vall d'Ànàn	3.22	1373	306.0	145.1
TOTAL		74227	16904.1	7717.9

Taula IV. Resultats del Model per a totes les Comarques de Catalunya amb SCEE de potència mitjana







	POTÈNCIA INSTAL·LADA (MW) (%)		ENERGIA PRODUÏBLE (GWh/any) (%)	
Hidràulica:				
Bombeig	88	1.8	-	-
Embassament	1069	21.5	3324	18.3
Fluent	484	9.8	1338	7.4
Total H.:	1642	33.1	4662	25.7
Tèrmica Convencional:				
Carbó	170	3.4	1020	5.6
Fuel-oil	1673	33.8	5856	32.2
F.O/gas	970	19.6	3395	18.7
Gas-oil	-	-	-	-
Mixtes	-	-	-	-
Total T.C.:	2813	56.8	10271	56.5
Tèrmica Nuclear(*)	500	10.1	3250	17.8
TOTAL CATALUNYA	4955	100.0	18184	100.0

Font: El Llibre Blanc de l'Energia a Catalunya (1981).

(*) inclou el 25 % de participació d'E. D. F.
a la C. N. de Vandellòs.

Taula V. Potència elèctrica instal·lada (31-IX-1980) i Energia produïble a Catalunya.

preses entre 6 i 77 kW), amb una Potència Instal·lable de 10.113 MW produïrien 5.336,6 GWh a l'any. Així mateix, 74.227 Sistemes Convertors d'Energia Eòlica de potència mitjana (diàmetre 24 m i potències nominals compreses entre 43 i 456 kW), amb una Potència Instal·lable de 16.904,1 MW produïrien 7.717,9 GWh a l'any. Una representació gràfica d'aquests resultats, per comarques, es pot veure en els gràfics V, VI i VII.

Per poder comparar aquestes xifres amb la situació energètica actual a Catalunya es dona una taula on es pot veure la Potència elèctrica Instal·lada a (31/12/1980) i l'Energia elèctrica Produïble (en un any mitjà). (Veure taula V.)

Com es pot veure s'ha arribat a unes xifres, tant pel que fa a la potència instal·lada com a l'energia produïble, que mereixen ser tingudes en compte, a despit que no tenen la pretensió de ser matemàticament exactes, si realment hom pretén caminar vers una fita real de diversificació energètica del país i cap a una autonomia en matèria d'energia. Això seria possible si es dediquessin els recur-

sos necessaris a l'energia eòlica, cosa que faria possible que molts municipis de casa nostra assolissin un grau d'autoabastiment energètic important (combinant l'energia eòlica amb altres fonts d'energia locals).

BIBLIOGRAFÍA

- Aerospace Corp. and California Energy Commission (1978), «Wind Energy for California», C.E.C., Sacramento, Ca., març.
- AILLERET, P. (1946), «L'énergie éolienne, sa valeur et la prospection des sites», *Revue Generale de l'Electricité*, Vol. 55, nº 3, març.
- AILLERET, P. (1948), «La recherche des sites qui pourraient convenir a une utilisation de l'énergie du vent», *La Météorologie*, abril-juny.
- Anònim, (1933), «Electricity from wind», *The Electrician*, 24, novembre.
- ARGAND, A. (1964), «Mesure des parametres caracteristiques de l'énergie éolienne en vue du choix des sites favorables a l'instal·lacion d'aeromoteurs», *Proc. of the U.N. Conf. on New Sources of Energy - Wind Power* Roma, 21-31, agost 1961, Vol. 7, U.N., New York.
- Autors varis (1980-1981), *Wind Energy Resource Atlas*, National Technical Information Service, Springfield.
- BARASOAIN, J.A., FONTÁN, L. (1955), *La energía del viento y su aprovechamiento*, Comisión Nacional de Energías Especiales Report EE/101, Madrid.
- BARASOAIN, J.A., FONTÁN, L. (1964), «Prospecting for wind power with a view of its utilization», *Proc. of the U.N. on New Sources of Energy - Wind Power*, Roma, 21-31, agost 1961, Vol. 7, U.N., New York.
- BARCHET, W.R. (1981) *Wind energy data base*, Fifth Biennial Wind Energy Conf. and Workshop Washington, 5-7 octubre.
- California Energy Commission (1981), *Wind Energy Assessment of California*, C.E.C., Sacramento, Ca.
- CARDONA, J.L. (1981), *Energía eólica y aeroturbinas: posibilidades de utilización en España*, Publicaciones del Programa Solar del I.N.I., nº 6.
- CHANDRA, S. (1978), *Wind Energy Potential in Florida: a further assessment*, Florida Solar Energy Center, junio.
- COTY, U.A. (1976), «Wind Energy Mission Analysis», *E.R.D.A.*, abril.
- DANSKE VINDKRAFT-VAERKER (1980-1981-1982), *Naturalig Energi*, Knebel, Dk.
- Digital Equipment Corp. (1980a), *Scientific subroutines programmer's reference manual*, SSP Version 1.2, D.E.C., Marlborough, maig.
- Digital Equipment Corp. (1980b), *VAX-11 Basic. User's guide*, D.E.C., Marlborough, maig.
- ELDRIDGE, F.R. (1977), *Commerzialization of small-scale wind machines*, Mitre Corporation, juny.
- ELLIOTT, D.L., (1977), *Syntesis of National Wind Energy Assessments*, Battelle Pacific Northwest Laboratories, juliol.
- ELLIOTT, D.L., BARCHET, W.R. (1981), *National Wind Resource Assessment*, Fifth Biennial Wind Energy Conference and Workshop Washington, 5-7 octubre.
- GARATE, J.A. (1977), «Wind Energy Mission Analysis», *E.R.D.A.*, febrer.
- General Electric Space Division (1977), *Wind Energy Mission Analysis*, G.E.Co., febrer.

- GOLDING, E.W., STODHART, A.H. (1952), *The selection and characteristics of wind power sites*. E.R.A., Technical Report, Ref. C/T 108.
- GOLDING, E.W. (1955a), «Wind power generation: Progress during past six years reviewed», *Electrical Review*, Vol. 156, 1, abril.
- GOLDING, E.W. «Energy from the wind», *Engineering*, Vol. 179, n° 4.654, 8 abril.
- GOOLEY, M. (1981), *The VPLLOT combination user's, installation and reference manual*, Millikin University Computer Center, Decatur, IL.
- HEWSON, E.W., BAKER, R.W., BROWNLOW, R. (1976), *Wind potential in selected areas of Oregon*, Oregon State University, juny.
- HEWSON, E.W., BAKER, R.W. (1978), *Wind power. network wind power over the Pacific Northwest*. Dept. of Atmospheric Sciences, Oregon State Univ., gener.
- HEWSON, E.W., UNDE, J.E. (1978), *Wind power potential in the Pacific Northwest Region*, Oregon State University, juny.
- JARASS, L., HOFFMAN, L., JARASS, A., OBEIMAIR, G. (1981), *Wind energy: an assessment of the technical and economic potential. A case study for the Federal Republic of Germany, commissioned by the International Energy Commission*, Springer-Verlag, Berlin.
- JUSTUS, C.G., HARGRAVES, W.R., YALCIN, A. (1976), «Nation wide assessment of potential output from wind powered generators», *Journal of Applied Meteorology*, 15.
- LACROIX, G. (1949), «L'énergie du vent», *La Technique Moderne*, T.XLI, n° 5-6 i 7-8, març-abril.
- LUNDSAGER, P., FRANDSEN, S., CHRISTENSEN, C.J. (1980), *Analysis of data from the Gedser wind turbine 1977-1979*, Riso National Laboratory, Roskilde.
- MESEGUER, C. (1978), *Emplazamiento y anteproyecto de una central eólica de mediana potencia*, Projecte fi de Carrera, ETSEI-UPB, Barcelona (inèdit).
- MESEGUER, C., OLIVA, A., PUIG, J. (1979), «L'energia eòlica i el seu futur a Catalunya», *Jornades Catalanes d'Enginyeria*, Barcelona.
- Ministry of Energy (1981), *Wind energy, past and present*, New and Renewable Energy Sources, Kenya.
- National Climatic Center (1974), *Climatic Atlas on the U.S.* N.C.C.
- NELSON, V., GILMORE, E. (1974), *Potential for wind generated power in Texas*, Texas Governor's Energy Advisory Council, octubre.
- O.V.E. (1981), «The Danish Organization for Renewable Energy», *Renewable Energy in Denmark*, O.V.E., Copenhagen.
- PETERSEN, E.L., TROEN, I., FRANDSEN, S., HEDEGAARD, K. (1981), *Windatlas for Denmark*, Riso National Laboratory, Roskilde, gener.
- PUIG, J. (1982), *El Passat i el futur de l'energia eòlica a Catalunya. Una aportació a la quantificació de la força del vent i una proposta per a la reintroducció del seu aprofitament*. Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Barcelona, octubre (inèdit).
- PUIG, J., MESEGUER, C. (1982), *Estudis previs i de definició dels equips necessaris per a la confecció del Mapa eòlic de Catalunya*, Memòria, Barcelona (inèdit).
- PUIG, J., MESEGUER, C. (1982), *Estudis previs i de definició dels equips necessaris per a la confecció del mapa eòlic de Catalunya*, Enquesta als Municipis, Barcelona (inèdit).
- PUIG, J., MESEGUER, C. (1983), *Estudis previs i de definició dels equips necessaris per a la confecció de l'Atlas Eòlic de Catalunya*, Memòria final, Barcelona, gener (inèdit).
- PUTNAM, P.C. (1948), *Power from the wind*, Van Nostrand Reinhold, NY.
- Real Academia de Ciències i Arts (1961), *Sessió d'homenatge al Dr. E. Fontserè*, Memòries, 3ª època, Vol. XXXIII, n° 18.
- Real Academia de Ciències i Arts (1970), *Obra Dispersa sobre meteorologia catalana*, 3ª època, Vol. XL, n° 4.

- REED, J.W., MAYDEW, R.C., BLACKWELL, B.F. (1974). *Wind energy potential in New Mexico*, Sandia Laboratories, juliol.
- SALOMON, J. (1967), Compteur anemometrique fournissant la moyenne cubique de la vitesse du vent», *Revue Generale de l'Electricite*, Vol. 76, n° 3.
- SÁNCHEZ TARIFA, C. (1980). «Energías solar y eólica. Estado actual y perspectivas» *Ingeniería Aeronáutica y Astronáutica*, n° 211.
- SEGARRA, P., ALARIO, J. (coordinadors) (1981), *El llibre blanc de l'energia a Catalunya*, Generalitat de Catalunya, Barcelona.
- SERRA, L. (1953), «Le vent en France et ses possibilites d'utilisation», *La Meteorologie*, octubre-deseembre.
- SIMMONS, D.M. (1975), *Wind power*, Noyes Data Corp., Park Ridge, N.J.
- STODHART, A.H. (1973), *Wind data for wind driven plant*, Wind Energy Conversion Systems, Workshop i Washington.
- TACKLE, E.S., BROWN, J.M. (1976), *Wind and wind energy in Iowa*, Iowa State University, octubre.
- THOMAS, P.H. (1945), *Electric power from the wind*, Federal Power Commission, març.
- TODD, C.J. (1977), «Cost effective electrical power generation from the wind», *Proc. of the Sym. of the Amer. Soc. Int. Solar Energy Society*, Orlando, Fl., juny.
- VENTERS, J. (1950), «The orkney windmill and wind power in Scotland», *The Engineer*, Vol. 189, 27 gener.
- WENTINK, T. (1976), *Study of Alaskan wind power and its possible application*, National Science Foundation, febrer.
- World Meteorological Organisation (1971), «World meteorological organisation guide to meteorological instrument and observing practices», *W.M.O.*, n° 8 1 P3.